E-ISSN 2685-6506
P-ISSN 2684-7671

Jurnal Penelitian Kehutanan BONITA



Volume 8 | Nomor 1 | Halaman 1-72 | Juni 2026

Jurnal Penelitian Kehutanan BONITA

Volume 8. Nomor 1. Juni 2026 **ISSN: 2684-7671**

Jurnal **BONITA** memuat hasil-hasil penelitian ilmiah pada berbagai bidang ilmu kehutanan diantaranya Manajemen dan Perencanaan Kehutanan, Konservasi, Sosial Kebijakan, Teknologi Hasil Hutan, Silvikultur dan bidang-bidang lain yang terapannya sangat berhubungan dengan bidang kehutanan.

Jurnal Bonita dengan ISSN Online No: 2685-6506 berdasarkan SK no: 0005.26856506/JI.3.1/SK.ISSN/2019.07 pada 31 Juli 2019 dan ISSN Cetak no: 2684-7671 berdasarkan SK no: 0005.26847671/J.I.3.1/SK.ISSN/2019.06 pada bulan Juni 2019. Jurnal Bonita terbit dua kali setiap tahun.

Editorial Team

Advisory Editorial Board
Rektor Universitas Andi Djemma Palopo
LPPM Universitas Andi Djemma Palopo
Dekan Fakultas Kehutanan Universitas Andi Djemma Palopo

Editor in Chief
Witno, S.Hut., M.Si

Managing Editor
Hadijah Asis Karim, S.Hut., M.Sc

Board of Editors
Liana, S.Hut.,M.Hut
Srida Mitra Ayu, S.P., M.P
Nardy Noerman Najib, S.Hut., M.Ling
Dian Puspa Ningrum, S.Hut., M.Hut
Maria, S.Hut., M.Hut

Information Technology
Apriani
Rahmat

Administration
Novi Herman Sada

Diterbitkan Oleh :
Kehutanan Press Fakultas Kehutanan Universitas Andi Djemma

Alamat Redaksi :
Jl. Puang Haji Daud. No. 4A. Kelurahan Tompotikka, Kecamatan Wara, Palopo, Indonesia. Telp/WA: 085340887930. Kode Pos: 91921
Email : Bonita.Unanda@gmail.com .Website : www.ojs.unanda.ac.id

Jurnal **Penelitian Kehutanan BONITA**
Volume 8. Nomor 1. Juni 2026 **ISSN: 2684-7671**

DAFTAR ISI

PEMANFAATAN LIMBAH TEMPURUNG DAN SABUT KELAPA MENJADI BRIKET ARANG SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN 1 – 11
(Utilization of Coconut Shell and Coir Waste into Charcoal Briquettes as an Eco-Friendly Alternative Energy)

KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA TEH CASCARA BERBAHAN KULIT KOPI ARABIKA DENGAN PENAMBAHAN KAYU SECANG (*Caesalpinia sappan* L.) 12 - 22
(Physicochemical Characteristics of Cascara Tea Made from Arabica Coffee Skin with the Addition of Secang Wood (Caesalpinia Sappan L.))

TURNOVER KOMUNITAS DAN KEANEKARAGAMAN JENIS KUPU-KUPU (LEPIDOPTERA: RHOPALOCERA) DI RIPARIAN SUNGAI PANEKI, DESA POMBEWE, KECAMATAN SIGI BIROMARU 23 – 35
(Community Turnover and Species Diversity of Butterflies (Lepidoptera: Rhopalocera) in the Paneki River Riparian Zone, Pombewe Village, Sigi Biromaru District)

PERBANDINGAN KARAKTERISTIK MIKROKLIMAT BERDASARKAN SUHU UDARA PADA AREA BERVEGETASI DAN PERMUKIMAN DI KOTA PALOPO 36 – 45
(Comparison of Microclimate Characteristics Based on Air Temperature in Vegetated Areas and Residential Areas in Palopo)

ASSESSMENT OF BIOMASS, CARBON STOCK, AND CO_2 SEQUESTRATION IN THE ARBORETUM OF INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA 46 – 58
(Kajian Biomassa, Stok Karbon, dan Serapan CO_2 di Arboretum Institut Teknologi Sumatera)

ANALISIS TINGKAT KERAWANAN LONGSOR MENGGUNAKAN METODE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK DI DAERAH ALIRAN SUNGAI SULI, KABUPATEN LUWU 59 – 72
(Analysis of Landslide Susceptibility Levels Using Artificial Neural Network Method in the Suli Watershed, Luwu Regency)

Jurnal Penelitian Kehutanan BONITA	Volume 8	Nomor 1	Juni 2026	p-ISSN : 2684-7671 e-ISSN : 2685-6506

Jurnal Penelitian Kehutanan BONITA
Volume 8. Nomor 1. Juni 2026 **ISSN: 2684-7671**

Lembar abstrak ini boleh diperbanyak tanpa izin dan biaya

Viny Volcherina Darlis[1], Agung Kartika Putra[1], Ika Lestari[1], Sonia Somadona[1], Nurul Qomar[1], M. Mardiansyah[1], Evi Sribudiani[1], Defri Yoza[1], Arya Arismaya Metananda[1], Ewi Irfani[1]
[1]Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia
e-mail: ikalestari@lecturer.unri.ac.id

PEMANFAATAN LIMBAH TEMPURUNG DAN SABUT KELAPA MENJADI BRIKET ARANG SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN

(Utilization of Coconut Shell and Coir Waste into Charcoal Briquettes as an Eco-Friendly Alternative Energy)

Jurnal Bonita.
Volume 8 Nomor 1, Juni 2026, Hal 1-11

Utilizing coconut waste, particularly shells and husks, as raw material for charcoal briquettes holds great potential for supporting environmentally friendly and sustainable renewable energy. However, this waste is still not being utilized optimally, even though it can reduce environmental pollution while providing economic benefits. This study aims to evaluate the effect of varying the mixing ratio of coconut shells and husks on the physical characteristics and performance of the resulting charcoal briquettes, as well as to determine the optimal composition as an alternative energy source. The research was conducted at the Forestry Laboratory of the Faculty of Agriculture, Universitas Riau, over a five-month period (August–December 2025). The raw materials consisted of coconut shells and husks with three composition variations: 100% shells, 75% shells + 25% husks, and 50% shells + 50% husks. The carbonization process was performed conventionally for one hour. Afterward, the charcoal was ground, mixed with arpus binder, molded, and tested for briquette characteristics such as moisture content, density, and calorific value. The results showed that the 100% coconut shell briquette had the lowest moisture content (6.51%) and the highest density (0.79 g/cm³), resulting in more efficient, stable combustion and a high calorific value. Conversely, increasing the proportion of coconut husk raised the moisture content to 16.58% and lowered the density to 0.66 g/cm³, which negatively impacted briquette quality. Low moisture content and high density are key indicators of good briquette quality. In conclusion, a briquette formulation dominated by coconut shells is recommended for producing high-quality charcoal briquettes as an environmentally friendly and sustainable source of renewable energy, as well as supporting optimal coconut waste management in Riau Province and surrounding areas.

Keywords: Biomass; Charcoal Briquettes; Coconut Waste; Environmentally Friendly; Renewable Energy; Sustainability

Novita Sari Parenden [1], Faradilah Farid Karim [1], Zulkahfi [1], Titi Wahyuni [2], Fitri Sylvianti Titong [3]
[1] Program Studi Kehutanan, Universitas Sulawesi Barat, Majene, Indonesia
[2] Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia
[3] Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah, Luwuk, Indonesia
e-mail: faradila.fkarim@unsulbar.ac.id

Jurnal **Penelitian Kehutanan BONITA**
Volume 8. Nomor 1. Juni 2026 **ISSN: 2684-7671**

KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA TEH CASCARA BERBAHAN KULIT KOPI ARABIKA DENGAN PENAMBAHAN KAYU SECANG (*Caesalpinia sappan L.*)
(Physicochemical Characteristics of Cascara Tea Made from Arabica Coffee Skin with the Addition of Secang Wood (Caesalpinia Sappan L.))

Jurnal Bonita.
Volume 8 Nomor 1, Juni 2026, Hal 12-22

Coffee is one of the leading commodities in Mamasa Regency, West Sulawesi Province. Increasing coffee harvests have an impact on the amount of coffee husk waste produced. Coffee husk waste is usually only used as animal feed, fertilizer, and sometimes directly discarded, which has the potential to cause environmental pollution. This study aims to utilize coffee husk waste into products that have economic value by diversifying the processing, namely cascara tea with the addition of sappanwood extract. Cascara tea is a beverage product made from coffee husks (read cherry) as the basic ingredient that has a color and taste similar to tea. This study used a quantitative approach with experimental tests. Phytochemical analysis used the Analysis of Variance (ANOVA) method and continued with the Duncan Multiple Range Test (DMRT). The results showed that cascara tea is made by sorting and cleaning the coffee husk, drying, reducing the size, adding sappanwood powder, brewing and filtering to produce cascara tea. The results of the physicochemical tests to determine the quality of cascara tea products for each parameter were: moisture content of 10.8-11.7%, ash content of 6.9-7.3%, and pH value of 4.3-4.4. The organoleptic test results showed that sample P3 (ratio of 3 g coffee skin + 0.39 g sappan wood) was preferred by the panelists because it had a distinctive aromatic color, aroma and taste
Keywords: Cascara Tea; Coffee Husk; Physicochemical; Secang Wood

Fauziah Ramadhana[1], Moh. Ihsan[1], Sri Ningsih[1], Rukmi[1], Sustri[1]
[1]Program Studi Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Tadulako
Jl. Soekarno Hatta Km. 9 Palu, Sulawesi Tengah 94118
e-mail: framadhana24@gmail.com

***TURNOVER* KOMUNITAS DAN KEANEKARAGAMAN JENIS KUPU-KUPU (*LEPIDOPTERA*: *RHOPALOCERA*) DI RIPARIAN SUNGAI PANEKI, DESA POMBEWE, KECAMATAN SIGI BIROMARU**
(Community Turnover and Species Diversity of Butterflies (Lepidoptera: Rhopalocera) in the Paneki River Riparian Zone, Pombewe Village, Sigi Biromaru District)

Jurnal Bonita.
Volume 8 Nomor 1, Juni 2026, Hal 23-35

The Paneki River riparian zone is a habitat that strongly supports the life cycle of butterflies. As a group of insects that are sensitive to environmental changes, butterflies have the potential to serve as bioindicators of riparian habitat quality. However, environmental changes inevitably occur over time and may affect butterfly community composition and diversity. This study aimed to determine butterfly species richness and diversity and to estimate the magnitude of biodiversity loss and gain in the Paneki River riparian zone. Data were collected using a transect walk method combined with butterfly capture using insect nets. Data analysis included species richness, the Shannon–Wiener

diversity index (H'), the evenness index (E), the Margalef species richness index (Dmg), biodiversity loss and gain analysis were assessed through a temporal comparison of butterfly species composition between the current survey (2025) and a previous study conducted (2024) at the same study site. Species loss represented previously recorded species that were no longer detected, whereas species gain represented newly recorded species in the current survey, providing an estimate of community turnover over time. The results recorded 35 butterfly species belonging to five families: Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae, Lycaenidae, and Hesperiidae. The diversity index (H' = 3.05), evenness index (E = 0.85), and species richness index (Dmg = 7.57) indicate that the Paneki River riparian habitat continues to support a diverse and relatively stable butterfly community. Species loss of 36.84% and species gain of 45.61% indicate a high butterfly community turnover, suggesting changes in species composition between the previous (2024) and current (2025) sampling periods in the Paneki River riparian habitat.

Keywords: Butterflies; Community Turnover; Paneki River; Riparian Zone; Species Richness

Ari Affandy Mahyuddin[1], Rahmat Hidayat Dongka[2], Fajar Ramadhan[3]
[1]Teknologi Rekayasa Metalurgi, Politeknik Dewantara, Palopo, Indonesia
[2]Teknik Elektro, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia
[3]Teknik Elektronika, Politeknik Dewantara, Palopo, Indonesia
e-mail: ariaffandymahyuddin@gmail.com

PERBANDINGAN KARAKTERISTIK MIKROKLIMAT BERDASARKAN SUHU UDARA PADA AREA BERVEGETASI DAN PERMUKIMAN DI KOTA PALOPO
(Comparison of Microclimate Characteristics Based on Air Temperature in Vegetated Areas and Residential Areas in Palopo)

Jurnal Bonita.
Volume 8 Nomor 1, Juni 2026, Hal 36-45

The city of Palopo, a developing city on the eastern coast of South Sulawesi, is experiencing the intensive conversion of green spaces into residential in tandem with ongoing urbanization, a process that has direct implications for urban microclimate dynamics but has not yet been extensively studied through direct field measurements in this region. This study aims to analyze and compare microclimate characteristics based on air temperature parameters between vegetated areas and residential areas in Palopo City. Measurements were taken at ten sampling points, five in vegetated areas and five in residential areas, during three time periods (morning, noon, and afternoon) using a DHT11 digital temperature sensor. The data were analyzed using descriptive statistics, the Shapiro–Wilk normality test, and an independent samples t-test. The results showed that the average air temperature in vegetated areas was 29.46 °C, significantly lower than that in residential areas, which reached 30.40 °C, with an average difference of 0.94 °C ($t = 6.78$; $p < 0.001$; $df = 8$). The largest temperature difference was recorded during the day (1.38 °C), reflecting the contrast in heat absorption and release patterns between the vegetation canopy and the hard surface materials of residential areas. The daily temperature amplitude in vegetated areas (1.66 °C) is narrower than that in residential areas (2.68 °C), confirming the role of vegetation as a thermal buffer that stabilizes microclimate

conditions. These findings provide an empirical basis for understanding the characteristics of tropical urban microclimates and for more measured planning of green open space distribution in the city of Palopo.
Keywords: Air Temperature; Microclimate; Palopo; Residential; Vegetation

Fakhri Muhammad Fikri[1], Nurika Arum Sari[1], Agung Yoga Pangestu[1], Diyanti Isnani Siregar[1], Oktarina Maulidia[1]
[1]Department of Forestry Engineering, Institut Teknologi Sumatera
Jl. Terusan Ryacudu, Jati Agung, Lampung Selatan, Lampung, Indonesia 35365
e-mail: nurika.sari@rh.itera.ac.id

ASSESSMENT OF BIOMASS, CARBON STOCK, AND CO_2 SEQUESTRATION IN THE ARBORETUM OF INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA
(Kajian Biomassa, Stok Karbon, dan Serapan CO_2 di Arboretum Institut Teknologi Sumatera)

Jurnal Bonita.
Volume 8 Nomor 1, Juni 2026, Hal 46-58

Global warming driven by rising greenhouse gas emissions has heightened the need to utilize green spaces as carbon sinks, one of which is the arboretum. This study aimed to determine the potential biomass, carbon stock, and CO_2 uptake of the vegetation in the Arboretum of Institut Teknologi Sumatera (Itera). A combination of destructive and non-destructive methods was applied across 12 plots representing three levels of vegetation density: high, medium, and low. The analysis covered biomass, carbon stock, and estimated CO_2 uptake. The results showed an average biomass of 50.51 tons/ha, a carbon stock of 23.74 tons/ha, and CO_2 uptake of 85.82 tons/ha. The highest values were found in the high-density vegetation area, which had a denser tree population. This study provides baseline carbon stock data for a developing campus arboretum in Sumatra, and concludes that, although the carbon stock of the Itera Arboretum remains lower than that of other arboreta, it nonetheless holds potential as a carbon sink that contributes to climate change mitigation. Practically, these results imply that arboretum management must prioritize intensive enrichment planting in low-density zones and establish permanent monitoring plots to optimize long-term carbon sequestration.
Keywords: Arboretum; Biomass; Carbon Stock; CO_2 Sequestration; Estimation

A. Muhammad Reza Fahlefi[1], Muh. Ilham Basmar[2]
[1]Program Studi Kehutanan Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin, Makassar
[2]Program Studi Kehutanan Fakultas Kehutanan Universitas Andi Djemma, Palopo
e-mail: muilham630@gmail.com

ANALISIS TINGKAT KERAWANAN LONGSOR MENGGUNAKAN METODE *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK* DI DAERAH ALIRAN SUNGAI SULI, KABUPATEN LUWU
(Analysis of Landslide Susceptibility Levels Using Artificial Neural Network Method in the Suli Watershed, Luwu Regency)

Jurnal **Penelitian Kehutanan BONITA**
Volume 8. Nomor 1. Juni 2026 **ISSN: 2684-7671**

Jurnal Bonita.
Volume 8 Nomor 1, Juni 2026, Hal 59-72

The complex geographical characteristics of the Suli Watershed, including steep slopes, high rainfall, and a vulnerable geological structure, contribute to a high potential for landslides. Therefore, a specialized approach using an Artificial Neural Network (ANN) model is required. This study aims to identify landslide events during the 2020–2024 period, analyze their influencing factors, and map landslide vulnerability in the Suli Watershed using an ANN model. This quantitative study was conducted from June 2025 to January 2026 in the Suli Watershed and at the Watershed Management Laboratory of Hasanuddin University using spatial and statistical analysis. A total of 152 landslide points were identified for the 2020–2024 period through time-series image interpretation, with the highest incidence in 2024 (42.76%) and the lowest in 2021 (7.89%). ANN modeling indicated that slope aspect is the most dominant parameter influencing landslides. Landslide susceptibility levels were divided into five classes, with the "High" class dominating 22.80% of the area, while the "Very Low" class covered the smallest area (17.38%). Slope aspect plays a significant role in landslide susceptibility within the Suli Watershed. The resulting hazard map is expected to serve as a basis for disaster risk mitigation and management planning in the region.
Keywords: Artificial Neural Network; Landslide; Suli Watershed

Volume 8 Nomor 1 Juni 2026: 1-11

PEMANFAATAN LIMBAH TEMPURUNG DAN SABUT KELAPA MENJADI BRIKET ARANG SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN

Utilization of Coconut Shell and Coir Waste into Charcoal Briquettes as an Eco-Friendly Alternative Energy

Viny Volcherina Darlis[1], Agung Kartika Putra[1], Ika Lestari[1], Sonia Somadona[1], Nurul Qomar[1], M. Mardiansyah[1], Evi Sribudiani[1], Defri Yoza[1], Arya Arismaya Metananda[1], Ewi Irfani[1]

[1]Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

e-mail: ikalestari@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Utilizing coconut waste, particularly shells and husks, as raw material for charcoal briquettes holds great potential for supporting environmentally friendly and sustainable renewable energy. However, this waste is still not being utilized optimally, even though it can reduce environmental pollution while providing economic benefits. This study aims to evaluate the effect of varying the mixing ratio of coconut shells and husks on the physical characteristics and performance of the resulting charcoal briquettes, as well as to determine the optimal composition as an alternative energy source. The research was conducted at the Forestry Laboratory of the Faculty of Agriculture, Universitas Riau, over a five-month period (August–December 2025). The raw materials consisted of coconut shells and husks with three composition variations: 100% shells, 75% shells + 25% husks, and 50% shells + 50% husks. The carbonization process was performed conventionally for one hour. Afterward, the charcoal was ground, mixed with arpus binder, molded, and tested for briquette characteristics such as moisture content, density, and calorific value. The results showed that the 100% coconut shell briquette had the lowest moisture content (6.51%) and the highest density (0.79 g/cm³), resulting in more efficient, stable combustion and a high calorific value. Conversely, increasing the proportion of coconut husk raised the moisture content to 16.58% and lowered the density to 0.66 g/cm³, which negatively impacted briquette quality. Low moisture content and high density are key indicators of good briquette quality. In conclusion, a briquette formulation dominated by coconut shells is recommended for producing high-quality charcoal briquettes as an environmentally friendly and sustainable source of renewable energy, as well as supporting optimal coconut waste management in Riau Province and surrounding areas.

Keywords: *Biomass; Charcoal Briquettes; Coconut Waste; Environmentally Friendly; Renewable Energy; Sustainability*

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah kelapa, khususnya tempurung dan sabut, sebagai bahan baku briket arang memiliki potensi besar untuk mendukung energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Limbah ini masih belum dimanfaatkan secara optimal, padahal dapat mengurangi pencemaran lingkungan sekaligus memberikan manfaat ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi rasio campuran tempurung dan sabut kelapa terhadap karakteristik fisik dan performa briket arang yang dihasilkan, serta menentukan komposisi optimal sebagai sumber energi alternatif. Metode penelitian dilakukan di Laboratorium Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Riau selama lima bulan (Agustus–Desember 2025). Bahan baku terdiri dari tempurung dan sabut kelapa dengan tiga variasi komposisi yaitu 100% tempurung, 75% tempurung + 25% sabut, dan 50% tempurung + 50% sabut. Proses karbonisasi dilakukan secara konvensional selama satu jam. Setelah itu, arang

dihaluskan, dicampur dengan perekat arpus, dicetak, dan diuji karakteristik briket seperti kadar air, densitas, dan nilai kalor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa briket 100% tempurung kelapa memiliki kadar air terendah (6,51%) dan densitas tertinggi (0,79 g/cm³), sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih efisien, stabil, dan nilai kalor tinggi. Sebaliknya, peningkatan proporsi sabut kelapa meningkatkan kadar air hingga 16,58% dan menurunkan densitas hingga 0,66 g/cm³, yang berdampak negatif pada kualitas briket. Kadar air rendah dan densitas tinggi menjadi indikator utama mutu briket yang baik. Kesimpulannya, formulasi briket yang didominasi tempurung kelapa direkomendasikan untuk menghasilkan briket arang berkualitas tinggi sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, serta mendukung pengelolaan limbah kelapa secara optimal di Provinsi Riau dan sekitarnya.

Kata Kunci: Biomassa; Briket Arang; Limbah Kelapa; Ramah Lingkungan; Energi Terbarukan; Keberlanjutan

PENDAHULUAN

Kelapa dengan nama latin *Cocos nucifera* L. adalah sejenis tumbuhan *Palmae* yang berasal dari daerah tropis dan *subtropic* yang tumbuh di daerah pesisir, salah satunya yang paling banyak ditemukan di Indonesia. Hampir berbagai daerah di Indonesia kita dapat menemukan buah ini yang dimanfaatkan dalam berbagai macam kebutuhan. Salah satu bagian dari kelapa yang sering dimaanfaakan adalah buahnya, buah kelapa merupakan *drupa monosperma* yang terdiri dari *exocarp* (kulit luar), *mesocarp* (serat kelapa), *endocarp* (cangkang keras), dan bagian dalam berupa daging kelapa (*endosperm*) serta air kelapa. Buah ini dikenal karena nilai ekonomisnya yang tinggi, karena setiap bagian dari buah kelapa dapat dimanfaatkan, mulai dari air kelapa, daging, serat, hingga bagian cangkang dan kulitnya untuk berbagai kebutuhan industri (Andreas, 2023).

Di Indonesia, khususnya di Provinsi Riau, buah kelapa banyak digunakan untuk diambil santannya sebagai campuran berbagai makanan, tak jarang ditemukan banyak di berbagai jenis pasar. Namun demikian, cangkang dan serabut kelapa belum banyak dimanfaatkan secara optimal, sehingga sering ditemukan hanya sebagai limbah yang menumpuk di pasar dan lingkungan sekitar. Limbah kelapa, termasuk cangkang dan serabut, merupakan sumber bahan baku yang potensial untuk inovasi bahan-bahan berbasis bio dan energi terbarukan, dan pemanfaatan ini masih perlu dikembangkan lebih dalam untuk manfaat ekonomi dan keberlanjutan lingkungan (Schmier *et al*., 2020). Tempurung kelapa memiliki kandungan lignin yang tinggi, yang membuatnya sangat cocok untuk diubah menjadi briket arang setelah melalui proses karbonisasi. Proses ini menghasilkan arang dengan densitas tinggi dan stabilitas struktur yang baik, menjadikannya bahan bakar alternatif yang efisien dan memenuhi standar teknis untuk bahan bakar padat (Gobel & Arif, 2022). Selain itu, sabut kelapa juga memiliki potensi sebagai bahan baku energi biomassa meskipun memiliki karakteristik yang lebih poros dan higroskopis. Dengan proses pengolahan yang tepat, sabut kelapa dapat digunakan untuk membuat briket dengan kadar air rendah dan nilai kalor yang cukup tinggi, meskipun ada *trade-off* dalam hal rasio campuran yang digunakan (Tanko *et al*., 2020; Iswara *et al*., 2024).

Pemanfaatan limbah kelapa masih belum dilakukan secara optimal, padahal limbah ini memiliki potensi besar untuk memberikan manfaat ekonomi dan mengurangi pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dan pengembangan lebih lanjut untuk mengoptimalkan pemanfaatan limbah kelapa sebagai sumber daya yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Inovasi ini sangat penting agar limbah kelapa tidak hanya menjadi sampah yang mencemari lingkungan, tetapi juga dapat dimanfaatkan untuk menciptakan nilai ekonomi (Dahlan *et al*., 2024).

Volume 8 Nomor 1 Juni 2026: 1-11

Keberlanjutan adalah konsep yang berfokus pada pemenuhan kebutuhan manusia saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka. Kegiatan pengolahan limbah kelapa menjadi briket sebagai sumber energi ramah lingkungan adalah contoh konkret dari penerapan prinsip keberlanjutan yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang.

Pendekatan ini menekankan pentingnya pengelolaan sumber daya secara bijaksana, inovasi teknologi, dan pemberdayaan masyarakat dalam memanfaatkan limbah organik secara berkelanjutan (Yunus *et al*., 2025). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan tempurung dan sabut kelapa sebagai bahan baku untuk pembuatan briket arang yang dapat menjadi sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi formulasi briket yang optimal, serta berkontribusi pada pengurangan limbah pertanian dan mendukung upaya energi berkelanjutan di Indonesia.

Meskipun berbagai penelitian telah melakukan potensi tempurung dan sabut kelapa sebagai bahan baku briket biomassa, informasi mengenai kombinasi terbaik kedua bahan tersebut dalam menghasilkan briket berkualitas masih terbatas. Sebagian besar penelitian lebih berfokus pada penggunaan tempurung kelapa atau sabut kelapa secara terpisah, sedangkan kajian mengenai pengaruh variasi rasio campuran keduanya terhadap karakteristik briket masih belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk dilakukan guna mengevaluasi pengaruh berbagai komposisi campuran tempurung dan sabut kelapa terhadap kualitas briket yang dihasilkan, sehingga dapat diperoleh formulasi yang paling baik sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian pembuatan briket arang ini dilaksanakan di Laboratorium Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Riau. Laboratorium ini digunakan sebagai tempat pelaksanaan seluruh tahapan penelitian, mulai dari persiapan bahan baku, proses karbonisasi, penghalusan arang, pencampuran perekat, pencetakan briket, hingga pengujian kualitas briket arang yang dihasilkan. Pemilihan lokasi penelitian dilakukan karena laboratorium tersebut memiliki fasilitas dan peralatan yang mendukung kegiatan penelitian pembuatan briket arang. Penelitian dilaksanakan selama lima bulan, yaitu mulai bulan Agustus hingga Desember 2025. Kegiatan penelitian diawali dengan persiapan alat dan bahan, pengumpulan bahan baku, serta studi literatur yang berkaitan dengan pembuatan dan pengujian kualitas briket arang. Tahap selanjutnya meliputi proses pembuatan briket arang, pengeringan, dan pengujian karakteristik briket seperti kadar air, kadar abu, nilai kalor, serta kerapatan briket. Setelah seluruh data diperoleh, dilakukan pengolahan dan analisis data untuk mengetahui kualitas dan karakteristik briket arang yang dihasilkan.

Alat dan Bahan

Bahan utama yang digunakan meliputi tempurung dan sabut buah kelapa, arpus 17,5% dan etanol 15 ml berkonsentrasi 96%. Berat setiap sample briket adalah 25,63 yang mengandung 3,78 gram arpus. Adapun tujuan penggunaan arpus pada penelitian diharapkan dapat menambah nilai kalor pada hasil briket. Namun dalam penelitian lainnya menyebutkan kelebihan dari perekat arpus adalah perekat ini cocok untuk prioritas mendapatkan laju pembakaran yang tinggi dan kadar abu rendah pada briket (Laday *et al*., 2024). Adapun peralatan penelitian terdiri atas tabung pembakaran, tumbukan untuk proses penghalusan, alat pengaduk, cetakan briket silinder berdiameter 3 cm dan tinggi 6

cm, timbangan analitik, ayakan berukuran 60 mesh, alat pengepres hidrolik, oven, cawan porselen, desikator, stopwatch, perlengkapan tulis, plastik bening, kertas label, sarung tangan, box penyimpanan, serta kamera untuk dokumentasi.

Persiapan Bahan Baku

Pengambilan sampel dilakukan di Kecamatan Kampar, Riau. Tempurung dan sabut diperoleh dari perkebunan milik masyarakat setempat. Tempurung dan sabut kelapa yang digunakan adalah berasal dari buah yang telah tua, ditandai dengan warna yang lebih gelap. Bahan dibersihkan, kemudian dikeringkan melalui penjemuran langsung di bawah sinar matahari selama satu hari untuk tempurung dan empat hari untuk sabut. Adapun Rancangan Acak Lengkap (RAL) dilakukan 3 perlakuan dan 3 kali ulangan untuk penelitian ini disajikan pada Tabel 1. dan Tabel 2. dibawah ini.

Tabel 1. Komposisi bahan baku

Kode perlakuan	Komposisi tempurung : sabut (%)	Jumlah ulangan
P1	100% : 0%	3
P2	75% : 25%	3
P3	50% : 50%	3

Tabel 2. Rancangan acak lengkap sample

Ulangan (U)	P1	P2	P3
1	P1U1	P2U1	P3U1
2	P1U2	P2U2	P3U2
3	P1U3	P2U3	P3U3

Proses Karbonisasi Tempurung dan Sabut Kelapa

Proses karbonisasi dilakukan dengan memasukkan tempurung dan sabut kelapa ke dalam tabung pembakaran berbahan stainless steel yang ditutup dan hanya memiliki sedikit lubang untuk keluarnya asap selama pembakaran. Tabung dipanaskan menggunakan kayu bakar selama 1 jam hingga bahan berubah menjadi arang. Metode karbonisasi ini bersifat konvensional sehingga suhu dan waktu pemanasan tidak dapat dikontrol secara presisi. Arang yang dihasilkan kemudian dikeluarkan dan dipisahkan dari abu.

Pembuatan Serbuk Arang

Masing-masing arang hasil karbonisasi dihancurkan menggunakan alat penumbuk. Setelah itu arang hasil tumbukan diayak menggunakan ayakan lolos 60 mesh.

Pembuatan Perekat

Partikel arpus sebanyak 17,5 g dicampurkan dengan etanol berkosentrasi 96% sebanyak 15 ml, kemudian diaduk hingga arpus dapat terlarut sempurna dengan pelarutnya.

Pembuatan Briket Arang

Partikel arang dicampur dengan perekat arpus yang telah dibuat dengan total berat per sampel adalah 25,43 gram. Persentase bahan yaitu tempurung: sabut adalah 100:0, 75:25, 50:50%. Campuran kemudian dicetak menggunakan cetakan silinder, kemudian dipres menggunakan alat pengepres hidrolik hingga membentuk briket yang kompak. Briket yang telah dicetak dikeringkan udarakan selama tiga hari, kemudian dikeringkan ke dalam oven pada suhu 103 ± 2°C selama ±4 jam.

Analisis Kadar Air

Briket ditimbang untuk mengetahui berat kering udara. Kemudian sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 103 ± 2°C selama 4 jam. Setelah itu, sampel didinginkan dalam desikator selama 10 menit dan ditimbang. Perlakuan ini berlanjut hingga

berat sampel stabil. Kadar air dihitung menggunakan persamaan:

$$KA\ (\%) = (BKU-BKT)/BKT \times 100\%$$

Di mana, BKU = berat kering udara (g) dan BKT adalah berat kering tanur (cm^3)

Densitas

Densitas ditentukan berdasarkan perbandingan massa briket kering terhadap volumenya. Rumus yang digunakan adalah:

$$Densitas = m/v$$

Di mana, m = berat kering udara briket (g) and v adalah volume briket (cm^3)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tempurung dan Sabut Kelapa sebagai Bahan Baku Briket Arang

Tempurung kelapa merupakan bagian keras dan padat dari buah kelapa yang mengandung lignin dan selulosa tinggi, sehingga menghasilkan arang dengan kandungan karbon dan nilai kalor yang tinggi. Struktur alaminya yang padat dan tahan terhadap pembakaran menjadikan tempurung kelapa sangat cocok sebagai bahan baku arang maupun briket karena mampu menghasilkan panas yang stabil dan efisien. Selain itu, tempurung kelapa mudah diolah menjadi arang melalui proses pirolisis atau pembakaran terbatas, dan dapat diproses lebih lanjut menjadi briket arang yang memiliki daya serap serta efisiensi pembakaran yang baik (Firmansyah & Nurhayati, 2024). Sementara itu, sabut kelapa memiliki karakteristik yang berbeda, yaitu berupa serat yang lebih berpori dan ringan, dengan kandungan air serta abu yang relatif tinggi.

Kondisi ini membuat sabut kelapa memerlukan perlakuan khusus agar dapat menghasilkan briket berkualitas, karena nilai kalor yang dimilikinya lebih rendah dibanding tempurung kelapa. Meski demikian, sabut kelapa tetap berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan campuran dalam pembuatan briket untuk menambah volume dan memperbaiki karakteristik fisik, asalkan melalui proses pengolahan yang tepat untuk meningkatkan kualitas pembakarannya (Firmansyah dan Nurhayati, 2024). Gambar batak dan sabut kelapa dapat dilihat pad Gambar 1. dibawah ini.



Gambar 1. Tempurung dan sabut kelapa sebagai bahan baku

Dalam penelitian ini, dilakukan juga kombinasi untuk melihat karakteristik campuran antara tempurung dan sabut kelapa yakni tempurung 100%, tempurung 75% + sabut 25% dan tempurung 50% + 50%. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio campuran terhadap sifat fisik briket, seperti kadar air, densitas, nilai kalor, dan kemampuan pembakaran briket yang dihasilkan. Dengan mengevaluasi berbagai rasio campuran tersebut, diharapkan dapat ditemukan komposisi yang paling optimal yang menghasilkan briket dengan karakteristik terbaik, serta untuk memahami

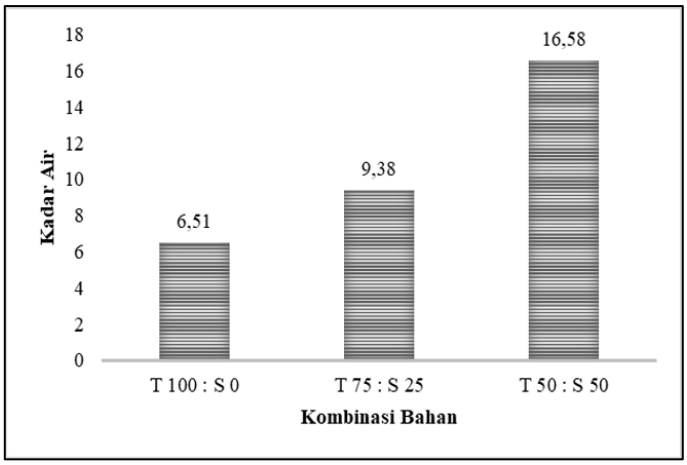
bagaimana perbandingan antara tempurung kelapa dan sabut kelapa mempengaruhi kualitas briket secara keseluruhan, secara rinxi hasilnya akan dijelaskan berdasarkan kadar air dan densitasnya.

Kadar Air Briket

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi bahan baku memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar air briket. Briket dengan komposisi tempurung 100% memiliki kadar air terendah yaitu 6,51%, campuran tempurung 75% + sabut 25% dengan kadar air 9,38% dan campuran tempurung 50% + sabut 50% menghasilkan kadar air tertinggi yaitu 16,58%. Adapun kadar air yang diukur sebelum pembuatan briket yakni tempurung 100% memiliki kadar air terendah yaitu 6,51%, campuran tempurung 75% + sabut 25% dengan kadar air 9,38% dan campuran tempurung 50% + sabut 50% menghasilkan kadar air tertinggi yaitu 16,58%.

Kadar air sebelum pembuatan briket (arang) memiliki kadar air yang lebih rendah dibandingkan setelah menjadi briket dikarenakan adanya penambahan ethanol pada briket, sehingga kadar airnya meningkat. Perbedaan ini berkaitan erat dengan karakteristik fisikokimia bahan baku. Tempurung kelapa memiliki struktur yang padat, porositas yang rendah, serta kandungan lignin tinggi sehingga bersifat lebih hidrofobik dan tidak mudah menyerap kelembapan (Gani *et al*., 2023; Nunes *et al*., 2019). Sebaliknya, sabut kelapa mengandung selulosa dan hemiselulosa dalam jumlah tinggi, yang bersifat higroskopis dan mudah mengikat air dari udara, sehingga meningkatkan kadar air pada briket (Ramadhan *et al*., 2025; Tanko *et al*., 2020).

Kadar air yang rendah sangat diinginkan dalam produksi briket karena secara langsung memengaruhi nilai kalor dan efisiensi pembakaran. Air yang tersisa dalam briket membutuhkan energi tambahan untuk diuapkan sebelum briket dapat terbakar sempurna, sehingga semakin tinggi kadar air maka semakin besar energi pemborosan selama proses pembakaran (Mustain *et al*., 2021). Pada komposisi 100% tempurung, kadar air berada di bawah batas maksimal SNI 01-6235-2000 yaitu 8%, sehingga briket dari tempurung kelapa murni tergolong memenuhi standar kualitas. Sebaliknya, kadar air pada perlakuan 50% tempurung + 50% sabut kelapa melebihi ambang batas tersebut, menandakan bahwa penggunaan sabut kelapa dalam proporsi yang tinggi berpotensi menurunkan kualitas briket sebagai bahan bakar padat karena efisiensi termal yang rendah dan peningkatan potensi asap selama pembakaran (Iswara *et al*., 2024). Berikut ini disajikan grafik kadar air pada Gambar 2. dibawah ini.



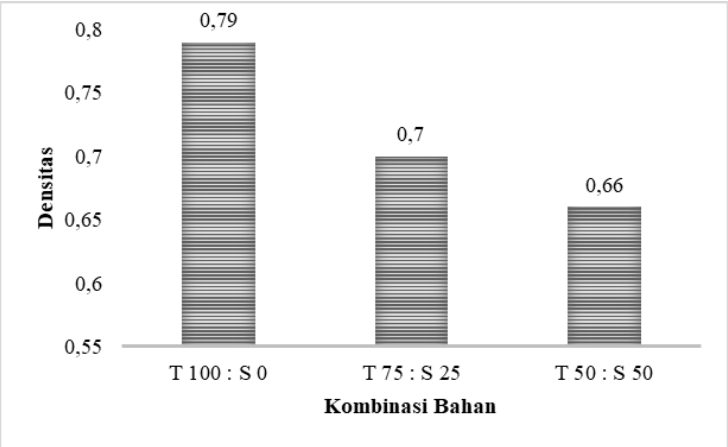
Gambar 2. Grafik kadar air 3 kombinasi pembuatan briket arang tempurung 100%, tempurung 75% + sabut 25% dan tempurung 50% + 50%

Secara ilmiah, kadar air merupakan indikator penting yang menentukan sifat termal briket biomassa. Banyak penelitian menunjukkan bahwa briket dengan kadar air ideal (<10%) mampu menghasilkan pembakaran yang lebih stabil, nilai kalor lebih tinggi, serta emisi yang lebih rendah (Fardin & Nurjannah, 2025; Gobel & Arif, 2022). Briket dengan kadar air tinggi tidak hanya menurunkan kinerja pembakaran tetapi juga berpotensi menurunkan waktu simpan karena tingginya risiko pertumbuhan mikroorganisme pada kondisi lembap. Oleh karena itu, kontrol kadar air melalui pemilihan komposisi bahan baku menjadi strategi penting dalam memastikan mutu briket yang sesuai dengan standar nasional maupun internasional.

Densitas

Densitas merupakan salah satu parameter kunci dalam penilaian kualitas briket karena berhubungan langsung dengan tingkat kekompakan partikel penyusunnya. Nilai densitas menggambarkan seberapa rapat partikel arang berikatan di bawah tekanan tertentu. Menurut SNI 01-6235-2000 densitas atau kerapatan pada arang minimal 0,447 gr/cm³. Pada penelitian ini, komposisi 100% tempurung menunjukkan densitas tertinggi yaitu 0,79 g/cm³, yang mengindikasikan bahwa arang tempurung kelapa memiliki struktur yang lebih kompak, keras, dan memiliki rasio lignin lebih tinggi dibandingkan sabut kelapa. Sebaliknya, komposisi 50% tempurung + 50% sabut memiliki densitas terendah, yaitu 0,66 g/cm³, yang menunjukkan bahwa campuran bahan dengan proporsi sabut lebih besar menghasilkan briket yang lebih berpori akibat struktur serat sabut yang longgar dan memiliki daya ikat mekanik yang lebih rendah (Kalsum & Jumardin, 2025; Nunes *et al*., 2019).

Penurunan densitas pada perlakuan dengan proporsi sabut yang lebih tinggi berkaitan dengan karakteristik fisik sabut kelapa. Sabut kelapa memiliki struktur berserat panjang, tipis, dan kurang kompak sehingga ketika dikarbonisasi menghasilkan arang yang lebih berpori dan memiliki densitas awal yang rendah. Ketika dipres dalam cetakan briket, struktur arang sabut tidak dapat saling menutup dan mengikat sekuat partikel arang tempurung yang lebih keras dan solid. Hal ini sesuai dengan temuan Ramadhani *et al*., (2025), yang menyatakan bahwa briket berbahan biomassa berserat cenderung memiliki densitas rendah meskipun diberikan tekanan pengepresan yang sama, karena porositas internal yang tinggi mengurangi kekompakan struktur. Berikut ini disajikan grafik densitas pada Gambar 3. dibawah ini.



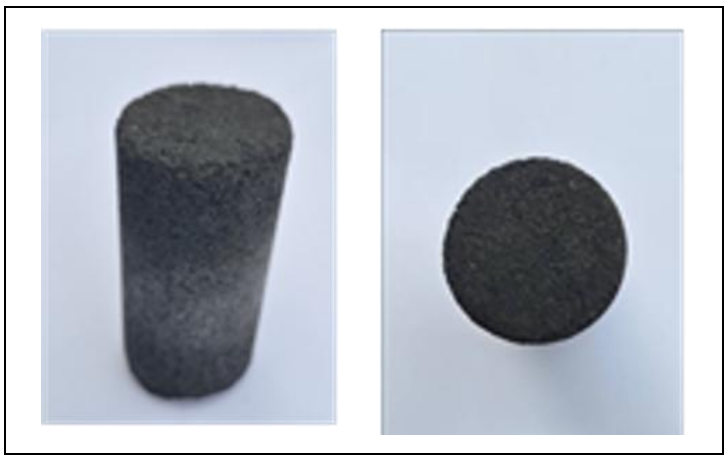
Gambar 3. Grafik densitas 3 kombinasi pembuatan briket arang tempurung 100%, tempurung 75% + sabut 25% dan tempurung 50% + 50%.

Densitas yang tinggi merupakan karakteristik penting karena memiliki implikasi langsung terhadap performa pembakaran dan kekuatan mekanik briket. Briket dengan densitas tinggi cenderung menghasilkan pembakaran yang stabil, laju pembakaran lebih lambat, serta energi panas yang lebih konsisten, karena partikel yang lebih rapat memperlambat difusi oksigen ke dalam struktur briket (Gani *et al*., 2023). Di sisi lain, briket berdensitas rendah lebih cepat terbakar, mudah hancur, serta menghasilkan nilai kalor yang lebih rendah akibat rendahnya massa karbon per satuan volume. Dalam konteks penyimpanan dan distribusi, densitas tinggi juga meningkatkan ketahanan mekanik terhadap benturan serta meminimalkan kerusakan fisik selama transportasi (Ramadhani *et al*., 2025).

Hasil penelitian ini menguatkan bahwa peningkatan proporsi tempurung kelapa memberikan kontribusi signifikan terhadap mutu fisik briket, khususnya densitas. Tempurung kelapa dengan kandungan lignin tinggi memiliki sifat termoplastik yang membantu mengikat partikel selama proses pengepresan dan pemanasan, sehingga meningkatkan kekuatan struktural briket. Sebaliknya, sabut kelapa yang terlalu tinggi komposisinya dapat menurunkan densitas dan mengganggu integritas mekanik briket. Oleh karena itu, formulasi briket biomassa yang optimal biasanya didominasi oleh bahan berstruktur keras seperti tempurung kelapa untuk mencapai kestabilan struktural dan kualitas pembakaran yang lebih baik.

Interpretasi Mutu Secara Keseluruhan

Secara keseluruhan, peningkatan porsi sabut kelapa menyebabkan kenaikan kadar air serta penurunan densitas briket. Temuan ini konsisten dengan literatur bahwa sabut kelapa cenderung meningkatkan higros-kopisitas dan mengurangi kerapatan briket (Ramadhani *et al*., 2025). Sebaliknya, tempurung kelapa yang memiliki struktur keras dan kerapatan lebih tinggi memberikan kontribusi positif terhadap mutu fisik briket. Hasil ini menunjukkan bahwa formulasi briket yang optimal cenderung membutuhkan proporsi tempurung yang lebih dominan dibanding sabut. Penggunaan perekat arpus dalam penelitian ini juga mendukung pembentukan struktur briket yang kompak namun masih cukup dipengaruhi oleh sifat masing-masing bahan baku. Gambar 4. dibawah ini menyajikan hasil briket arang yang dibuat.



Gambar 4. Hasil briket dari kombinasi tempurung dan sabut kelapa

Implikasi Kualitas Pembakaran, Efisiensi Energi, dan Potensi Pemanfaatan Rumah Tangga

Briket dengan komposisi tempurung kelapa 100% diperkirakan memiliki kualitas pembakaran yang lebih baik dibandingkan campuran yang mengandung proporsi sabut kelapa lebih tinggi. Hal ini didasarkan pada kadar air yang lebih rendah (6,51%) dan densitas yang lebih tinggi (0,79 g/cm^3). Hasil ini sejalan dengan penelitian Mustafa & Ibrahim (2023) yang menyebutkan bahwa

briket tempurung kelapa memiliki densitas tinggi (0,59 g/cm³) dan kadar air rendah (6,20%), sehingga mendukung proses pembakaran yang lebih stabil dan efisien. Kadar air yang rendah memungkinkan proses penyalaan berlangsung lebih cepat serta mengurangi energi yang dibutuhkan untuk menguapkan air selama pembakaran. Selain itu, Mahusangka *et al*., (2025) melaporkan bahwa kadar air briket berbahan tempurung kelapa umumnya berada pada kisaran 6–8,9%, yang masih memenuhi kisaran optimal (<10%) untuk menghasilkan performa pembakaran yang baik.

Densitas yang tinggi juga menunjukkan bahwa massa bahan bakar yang terkandung dalam setiap satuan volume lebih besar, sehingga briket berpotensi menghasilkan panas yang lebih konsisten dan waktu pembakaran yang lebih lama. Sebaliknya, peningkatan proporsi sabut kelapa menyebabkan kadar air meningkat dan densitas menurun, sehingga berpotensi menurunkan kestabilan pembakaran. Temuan ini juga didukung oleh penelitian Melenia *et al*., (2024), yang menunjukkan bahwa biomassa dengan densitas lebih tinggi cenderung menghasilkan pembakaran yang lebih lama dan stabil dibandingkan biomassa dengan densitas rendah.

Tempurung kelapa disebut memiliki kadar karbon tetap (fixed carbon) yang tinggi dan kestabilan pembakaran yang baik karena proses karbonisasi, dengan nilai kalor sekitar 7.283,5 cal/gram (Rudiyanto *et al*., 2023). Nilai kalor ini relatif tinggi dibandingkan biomassa lain dan menunjukkan efisiensi energi yang lebih baik karena menghasilkan panas lebih besar per satuan massa bahan bakar. Briket dengan proporsi tempurung kelapa yang tinggi cenderung memiliki kadar air lebih rendah. Hal ini dikarenakan tempurung kelapa yang telah dikarbonisasi menghasilkan arang dengan porositas tinggi dan kemampuan menyerap air yang lebih rendah dibanding campuran yang mengandung lebih banyak sabut. Kadar air yang rendah penting karena meningkatkan efisiensi energi dengan mengurangi energi yang terbuang untuk menguapkan air selama proses pembakaran (Baradyana *et al*., 2026).

Pada penelitian ini, briket dengan komposisi tempurung kelapa 100% memiliki kadar air terendah, yaitu 6,51%, sehingga diperkirakan mampu menghasilkan proses pembakaran yang lebih efektif dan pemanfaatan energi yang lebih optimal dibandingkan perlakuan campuran tempurung dan sabut kelapa. Sebaliknya, peningkatan proporsi sabut kelapa menyebabkan kadar air meningkat, yang berpotensi menurunkan efisiensi energi karena sebagian panas pembakaran digunakan untuk menguapkan kandungan air dalam briket. Dengan demikian, penggunaan tempurung kelapa sebagai bahan utama briket lebih direkomendasikan untuk menghasilkan bahan bakar biomassa yang efisien dan berkualitas tinggi.

Briket arang berbahan tempurung dan sabut kelapa dalam penelitian ini memiliki potensi besar, karena briket tempurung kelapa sebagai bahan bakar padat dan unggul dibandingkan briket lainnya, terutama pada nilai kalor. Sehingga sangat diharapkan dapat digunakan pada skala kecil hingga menengah seperti aplikasi pada rumah tangga dalam hal memasak, memanggang ataupun kebutuhan usaha mikro. Di Provinsi Riau potensi kelapa cukup melimpah, rata-rata masyarakat memanfaatkan kelapa untuk diambil santannya sehingga mengahasilkan banyak limbah tempurung dan sabut kelapa. Limbah ini sangat mudah ditemukan terutama di kawasan pasar dan warung pedangang kelapa.

Kondisi tersebut memberikan peluang yang besar untuk mengembangkan briket arang sebagai produk bernilai tambah yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat setempat. Implementasi hasil penelitian ini tidak hanya berpotensi mengurangi penumpukan limbah, tetapi juga menyediakan sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan, meningkatkan nilai ekonomi limbah kelapa, serta mendukung upaya pemanfaatan energi terbarukan secara berkelanjutan di Provinsi Riau.

SIMPULAN

Limbah tempurung dan sabut kelapa memiliki potensi besar sebagai bahan baku pembuatan briket arang yang dapat dijadikan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Briket dengan komposisi 100% tempurung kelapa menunjukkan kualitas terbaik dengan kadar air rendah (6,51%) dan densitas tinggi (0,79 g/cm³), yang menghasilkan pembakaran stabil, efisien, dan nilai kalor tinggi. Peningkatan proporsi sabut kelapa cenderung meningkatkan kadar air dan menurunkan densitas briket, sehingga menurunkan mutu fisik dan efisiensi pembakaran. Oleh karena itu, komposisi briket yang didominasi oleh tempurung kelapa lebih direkomendasikan untuk menghasilkan briket berkualitas tinggi yang mendukung pengurangan limbah kelapa serta pemanfaatan energi yang ramah lingkungan, khususnya di daerah dengan potensi limbah kelapa yang melimpah seperti Provinsi Riau. Implementasi hasil penelitian ini berpeluang meningkatkan nilai ekonomi limbah kelapa dan memberikan solusi energi alternatif yang lebih ramah lingkungan untuk skala rumah tangga dan usaha mikro.

ACKNOWLEDGMENTS

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Riau melalui dana DIPA pada skema AFIRMASI tahun 2025, yang telah memberikan dukungan pendanaan terhadap penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian di lapangan, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Andrés, G. S., Sierra, S., & Graziella, B. (2023). Morphological, Physical, and Chemical Characterization of Coconut Residues in Ecuador. Heliyon, 9(9), e19267. https://doi.org/10.1016/j.heliyon. 2023.e19267.

Baradyana, M. N., & Alphonce, G. F. (2026). Feasibility of Producing Briquettes from Baobab Seed Cake and Carbonized Coconut Husks for Clean Energy Access in Africa. *European Journal of Scientific Research and Reviews, 4*(2), 130–139. https://doi.org/10.5455/EJSRR.20251014013718.

Dahlan, M., Jufri, S., Sulfiana, E., Purna Yudha, S., & Amaluddin, M. N. H. (2024). Studi Karakteristik Briket Arang Biomassa Berbasis *Screw Press*. *Jurnal Rekayasa Mesin, 15*(3), 1634–1654. https://doi.org/10.21776/jrm.v15i3.1824.

Fardin, M., & Nurjannah, I. (2025). Analisis Karakteristik Briket Berbahan Campuran Tempurung Kelapa, Sekam Padi dan Tepung Tapioka. *JTM : Jurnal Teknik Mesin*, *14*(02), 15–22.

Firmanasyah, M. S., & Nurhayati, S. F. (2024). Pemanfaatan Briket Arang Tempurung Kelapa sebagai Energi Alternatif. *Determinasi: Jurnal Ekonomi Manajemen dan Akuntansi*, *2*(2), 118–123. https://doi.org/10.23917/determinasi.v2i2.227.

Gani, A., Erdiwansyah, Munawar, E., Mahidin, Mamat, R., & Rosdi, S. M. (2023). Investigation of the Potential Biomass Waste Source for Biocoke Production in Indonesia: A review. *Energy Reports*, *10*, 2417–2438. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.09.065.

Gobel, A. P., & Arief, A. T. (2022). Pengaruh Karbonisasi Terhadap Karakteristik Tempurung Kelapa Berdasarkan Uji Proksimat dan Nilai Kalor. *Jurnal Mineral, Energi, Dan Lingkungan*, *5*(1), 48.

Iswara, M. A. I., Mustain, A., Mufid, M., & Prayitno, P. (2024). Studi Literatur Karakteristik Briket dengan Perbedaan Rasio Campuran Arang Tempurung Kelapa dan Biomassa Lainnya. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, *10*(1), 56–69. https://doi.org/10.33795/distilat.v10i1.4466.

Kalsum, U., Sahara, S., & Jumardin, J. (2025). Uji Kuat Tekan dan Kekerasan dengan Variasi Komposisi dan Ukuran Partikel pada Biobriket Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*), Tongkol Jagung (*Corn cob*) dan Kotoran Sapi. *JFT: Jurnal Fisika Dan Terapannya*, *12*(1), 117–131. https://doi.org/10.24252/jft.v12i1.57733.

Laday, L. D. A. B., Wulandari, D., Abdi, F. I., & Riandadari, D. (2024). Pengaruh Komposisi Jenis Perekat Arpus dan Tepung Beras Terhadap Karakteristik Briket Bioarang sebagai Bahan Bakar Alternatif. Jurnal Rekayasa Mesin (JRM), 9(1), 271-276. https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-rekayasa-mesin.

Madhusanka, L., Nilmalgoda, H., Wijethunga, I., Ampitiyawatta, A., & Koswattage, K. (2025). Agri-Eco Energy: Evaluating Non-edible Binders in Coconut Shell Biochar and Cinnamon Sawdust Briquettes for Sustainable Fuel Production. AgriEngineering, 7(5), 132. https://doi.org/10.3390/agriengineering7050132.

Melenia., Ahzan, S., Pangga, D. (2024). Effect of Base Material Variations on the Quality of Biobriquettes Made from Corncob and Coconut Shell Charcoal. Lensa: *Jurnal Kependidikan Fisika, 12*(2), 182-196. https://doi.org/10.33394/jlkf.v12i2.13305.

Mustafa, S., & Ibrahim, S. (2023). Thermal and Physical Properties of Briquette Fuels from Coconut Shells and Cocoa Shells. *Bioresources and Environment, 1*(3), 45–53. https://doi.org/10.24191/bioenv.v1i3.39.

Mustain, A., Sindhuwati, C., Wibowo, A. A., Estelita, A. S., & Rohmah, N. L. (2021). Pembuatan Briket Campuran Arang Ampas Tebu dan Tempurung Kelapa sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, *5*(2), 100–106. https://doi.org/10.33795/jtkl.v5i2.183.

Nunes, L. J. R., Meireles, C. I. R., Gomes, C. J. P., & Ribeiro, N. M. C. A. (2019). Historical Development of the Portuguese Forest: The introduction of Invasive Species. *Forests*, *10*(11). https://doi.org/10.3390/f10110974.

Rudiyanto, B., Riyanto, I. R., Utami, Z., Puspaningrum, D. A., Hanafi, M., Prasetyo, B., & Permana, T. (2023). Quality Analysis of Coconut Shell Charcoal Briquettes with Cassava Peel Adhesive. *International Journal of Renewable Energy Development*, *12*(2), 270-276. https://doi.org/10.14710/ijred.2023.48432.

Schmier, S., Hosoda, N., & Speck, T. (2020). Hierarchical Structure of the *Cocos nucifera* (Coconut) Endocarp: Functional Morphology and its Influence on Fracture Toughness. *Molecules, 25*(1), 223. https://doi.org/10.3390/molecules25010223.

Tanko, J., Ahmadu, U., Sadiq, U., & Muazu, A. (2020). Characterization of Rice Husk and Coconut Shell Briquette as an Alternative Solid Fuel. *Advanced Energy Conversion Materials*, 1–12. https://doi.org/10.37256/aecm.212021608.

Yunus, A. I., Masruwina, A., Indrayuni, A., Fatimah, A., & Sompa, A. (2025). Pemanfaatan Tempurung Kelapa Menjadi Briket Sebagai Biomassa Alternatif Ramah Lingkungan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat: Pemberdayaan, Inovasi dan Perubahan (JPM), 5*(4), 99–109.

Volume 8 Nomor 1 Juni 2026: 12-22

KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA TEH CASCARA BERBAHAN KULIT KOPI ARABIKA DENGAN PENAMBAHAN KAYU SECANG (*Caesalpinia sappan L.*)

Physicochemical Characteristics of Cascara Tea Made from Arabica Coffee Skin with the Addition of Secang Wood (Caesalpinia Sappan L.)

Novita Sari Parenden [1], Faradilah Farid Karim [1], Zulkahfi [1], Titi Wahyuni [2], Fitri Sylvianti Titong [3]

[1] Program Studi Kehutanan, Universitas Sulawesi Barat, Majene, Indonesia
[2] Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia
[3] Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah, Luwuk, Indonesia
e-mail: faradila.fkarim@unsulbar.ac.id

ABSTRACT

Coffee is one of the leading commodities in Mamasa Regency, West Sulawesi Province. Increasing coffee harvests have an impact on the amount of coffee husk waste produced. Coffee husk waste is usually only used as animal feed, fertilizer, and sometimes directly discarded, which has the potential to cause environmental pollution. This study aims to utilize coffee husk waste into products that have economic value by diversifying the processing, namely cascara tea with the addition of sappanwood extract. Cascara tea is a beverage product made from coffee husks (read cherry) as the basic ingredient that has a color and taste similar to tea. This study used a quantitative approach with experimental tests. Phytochemical analysis used the Analysis of Variance (ANOVA) method and continued with the Duncan Multiple Range Test (DMRT). The results showed that cascara tea is made by sorting and cleaning the coffee husk, drying, reducing the size, adding sappanwood powder, brewing and filtering to produce cascara tea. The results of the physicochemical tests to determine the quality of cascara tea products for each parameter were: moisture content of 10.8-11.7%, ash content of 6.9-7.3%, and pH value of 4.3-4.4. The organoleptic test results showed that sample P3 (ratio of 3 g coffee skin + 0.39 g sappan wood) was preferred by the panelists because it had a distinctive aromatic color, aroma and taste

Keywords: *Cascara Tea; Coffee Husk; Physicochemical; Secang Wood*

ABSTRAK

Kopi merupakan salah satu komoditi unggulan di Kabupaten Mamasa Provinsi Sulawesi Barat. Hasil panen kopi yang meningkat, berdampak pada banyaknya limbah kulit kopi yang dihasilkan. Limbah kulit kopi biasanya hanya dijadikan pakan ternak, pupuk dan terkadang langsung dibuang yang berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah kulit kopi menjadi produk yang memiliki nilai ekonomi dengan cara melakukan diversifikasi olahan yaitu teh cascara dengan penambahan ekstrak kayu secang. Teh cascara merupakan produk minuman yang dibuat dengan menggunakan bahan dasar kulit kopi (*read cherry*) yang memiliki warna dan rasa mirip seperti teh. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan uji eksperimen. Analisis uji fisikokimia dilakukan menggunakan ANOVA dan DMRT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembuatan teh cascara dilakukan dengan sortir dan pembersihan kulit kopi, pengeringan, pengecilan ukuran, penambahan serbuk kayu secang, penyeduhan dan penyaringan hingga menghasilkan teh cascara. Hasil uji fisikokimia untuk mengetahui kualitas produk teh cascara pada masing-masing parameter yaitu, kadar air 10,8-11,7 %, kadar abu 6,9-7,3%, dan nilai pH 4,3-4,4. Hasil uji organoleptik menunjukkan sampel P3 (rasio 3 g kulit kopi + 0,39 g kayu secang) lebih disukai oleh panelis karena memiliki warna , aroma dan rasa yang khas aromatik.

Kata kunci: Teh Cascara; Kulit Kopi; Fisikokimia; Kayu Secang

Volume 8 Nomor 1 Juni 2026: 12-22

PENDAHULUAN

Komoditas kopi merupakan salah satu Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK) yang dimanfaatkan untuk meningkatkan perekonomian serta kesejahteraan masyarakat di sekitar kawasan hutan. Kabupaten Mamasa dikenal sebagai daerah penghasil kopi terbesar di Provinsi Sulawesi Barat. Luas perkebunan kopi di wilayah ini mencapai 7.134 ha untuk jenis Robusta dan 11.983 ha untuk Arabika (Chairuddin & Abdullah, 2023). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Mamasa tahun 2021, produksi kopi mencapai 3.487 ton, dengan peningkatan produktivitas sebesar 0,39 ton/ha untuk kopi Arabika dan 0,4 ton/ha untuk kopi Robusta (Amran, 2023).

Menurut Nalurita *et al*., (2023), Limbah kulit kopi basah merupakan hasil samping dengan kandungan air yang tinggi, yakni sekitar 77%. Tingginya kadar air ini mempercepat proses pembusukan yang berpotensi menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan dan menyebabkan pencemaran. Selain itu, kulit kopi juga menjadi sumber masalah lingkungan karena masih mengandung senyawa seperti kafein, fenol bebas, dan tanin (polifenol) yang diketahui bersifat toksik bagi aktivitas mikroorganisme di dalam tanah.

Limbah kulit buah kopi memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan karena masih mengandung nutrisi yang cukup tinggi. Namun, pemanfaatannya oleh masyarakat di Kabupaten Mamasa selama ini masih terbatas pada pembuatan kompos dan pakan ternak, tanpa melalui pengolahan yang optimal untuk meningkatkan nilai ekonominya. Salah satu alternatif pemanfaatan yang dapat dilakukan adalah mengolah limbah kulit kopi menjadi produk minuman teh cascara.

Teh cascara adalah produk minuman yang dibuat dengan menggunkan bahan dasar limbah kulit kopi yang memiliki warna dan rasa mirip seperti teh (Garis *et al*., 2019). Kandungan senyawa yang terdapat pada minuman teh cascara yaitu alkoloid, tanin dan polifenol (Juwita *et al*., 2017). Minuman teh cascara memiliki rasa manis dan aroma khas seperti teh herbal (Maharani *et al*., 2024). Selain itu teh cascara juga memiliki rasa dan aroma seperti stroberi dan kismis (Rezky, 2023). Serta memiliki rasa dan aroma seperti mawar, mangga dan cherry (Prayoga *et al.*, 2024). Namun hasil ekstrak teh cascara menunjukkan warna yang kurang pekat seperti teh biasanya (Fitriani, 2023). Sehingga perlu dilakukan penambahan bahan pewarna pada teh cascara. Penggunaan zat pewarna buatan sering dijumpai pada masyarakat, hanya saja beberapa zat pewarna tersebut mengandung zat zat yang berbahaya bagi kesehatan tubuh (Azliani & Nurhayati, 2018). Oleh karena itu perlu pengembangan bahan-bahan pewarna alami yang lebih aman untuk digunakan.

Kayu secang merupakan salah satu bahan pewarna yang menghasilkan pigmen berwarna merah (Azliani & Nurhayati, 2018). Kayu secang dapat digunakan sebagai alternatif yang tepat sebagai bahan pewarna. Kayu secang memiliki manfaat bagi kesehatan tubuh manusia dan diketahui tidak mengandung toksin sehingga aman untuk dikonsumsi (Dwi, 2021). Selain itu kayu secang juga merupakan sumber antioksidan alami yang banyak dimanfaatkan sebagai obat tradisional seperti penyakit diare, disentri, tetanus, malaria, dan batuk.

Penelitian tentang pembuatan teh cascara dari kulit kopi telah banyak dilakukan, seperti penelitian Sari *et al*., (2021), yang memanfaatkan limbah kulit kopi robusta menjadi teh celup cascara. Penelitian Nalurita *et al*., (2023), bersama Kelompok Wanita Tani Elong Tuna yang mengolah limbah kulit kopi menjadi teh herbal cascara celup. Selain itu penelitian terkait pembuatan teh cascara yang dicampurkan dengan bubuk kayu manis, ekstrak jahe dan ekstrak jeruk nipis pernah dilakukan oleh (Zai & Bimanto 2023; Nashrullah *et al*., 2024), namun pengujian dengan menggunakan campuran kayu secang masih jarang dilakukan.

Kondisi di lokasi penelitian menunjukkan bahwa ketersediaan kulit kopi

cukup melimpah, namun pengetahuan mengenai pengolahannya masih terbatas. Apabila diolah dengan metode yang tepat, potensi tersebut dapat menjadi solusi bernilai ekonomi. Pengembangan produk berbahan baku limbah kulit kopi dengan penambahan ekstrak kayu secang menjadi salah satu alternatif yang produktif untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya alam lokal. Oleh karena itu, penelitian mengenai pembuatan teh cascara dengan kombinasi kayu secang sebagai bahan pewarna perlu dilakukan sebagai bentuk inovasi dalam pengembangan produk hasil hutan bukan kayu.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret - Juni tahun 2025. Sampel kulit kopi berasal dari Desa Buangin, Kecamatan Rantebulahan Timur, Kabupaten Mamasa dan sampel kayu secang berasal dari Desa Bababulo, Kecamatan Pamboang, Kabupaten Majene. Pembuatan teh cascara dan pengujian kualitas dilakukan di Laboratorium Kehutanan Universitas Sulawesi Barat.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kulit kopi arabika, serbuk kayu secang, kertas saring dan aquades. Alat yang digunakan meliputi: *food dehydrator, chopper*, timbangan analitik, pH meter, termometer, panci, *hot plate*, gelas ukur 250 ml, cawan porselin.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) 1 faktor dengan 4 perlakuan dan 3 ulangan. Proses pembuatan teh cascara merujuk pada penelitian (Indrayani *et al*., 2022 ; Zai & Bimantio 2023) yang menggunakan 3 gram kulit kopi dan dimodifikasi dengan menambahkan serbuk kayu secang menggunakan perlakuan yang berbeda yaitu P0 = 0 gram, P1 = 0,09 gram, P2 = 0,24 gram dan P3 = 0,39 gram.

Prosedur pembutan teh cascara dengan penambahan serbuk kayu secang sebagai berikut 1) Pengambilan sampel; 2) penyortiran buah kopi untuk memisahkan buah yang berwarna merah; 3) pemisahan kulit dari biji kopi menggunakan mesin huller dan pemotongan kayu secang; 4) pengeringan kulit kopi dan kayu secang menggunakan *food dehydrator* pada suhu 50 ^{0}C selama 4 jam; 5) pembuatan serbuk teh cascara dan kayu secang menggunakan alat chopper; 6) penyeduhan teh cascara dengan penambahan serbuk kayu secang sesuai dengan dosis yang telah ditentukan menggunakan aqudes yang dipanaskan hingga mencapai suhu 90 ^{0}C selama 6 menit.

Uji fisikokimia untuk mengetahui kualitas dari teh cascara meliputi kadar air, kadar abu dan nilai pH. Data yang dihasilkan kemudian dianalisis pendekatan kuantitatif dengan menggunakan metode *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk melihat pengaruh perlakukan terhadap parameter uji yang kemudian jika berpengaruh nyata akan dilanjutkan dengan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf signifikan 5%.

Uji organoleptik pada penelitian ini dilakukan terhadap 15 orang panelis dengan kriteria masing-masing 5 orang dosen dan 5 orang mahasiswa Universitas Sulawesi Barat dan 5 orang berasal dari masyarakat umum. Panelis disediakan sampel seduhan teh cascara berbagai rasio penyeduhan dan disertai dengan lembar kuesioner. Metode penilaian dilakukan dengan skoring 1-5 dengan parameter uji yaitu warna, aroma dan rasa. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan rumus persentase yang merujuk pada penelitian Nasywa et al., (2024).

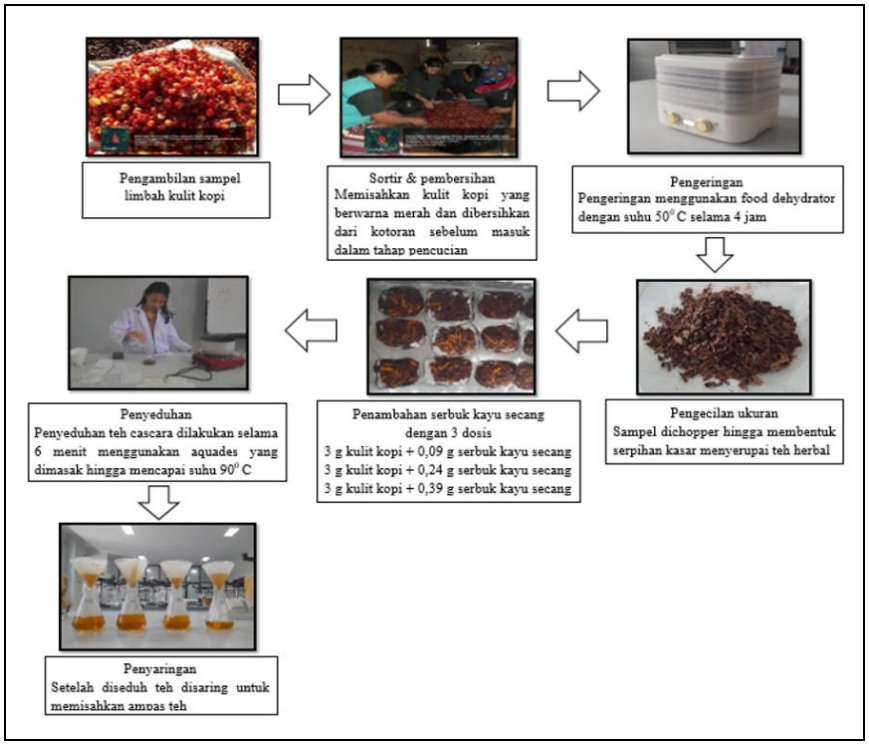
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Produk Teh Cascara Kombinasi Limbah Kulit Kopi Arabika dengan Serbuk Kayu Secang

Teh cascara merupakan minuman herbal yang dibuat dari kulit buah kopi kering. Bahan utama yang digunakan yaitu kulit kopi arabika dan dikombinasikan dengan serbuk kayu secang. Minuman teh cascara mengandung banyak khasiat yang bermanfaat bagi kesehatan manusia seperti zat antibakteri dan antioksidan serta memiliki rasa manis dan aroma khas seperti herbal (Ramadhan *et al*., 2022). Menurut Darmawan

& Hakim (2024), teh cascara mengandung beberapa senyawa metabolit sekunder yaitu kafein dan golongan polifenol. Sedangkan kayu secang merupakan salah satu bahan pewarna yang menghasilkan pigmen berwarna merah, kayu secang memiliki manfaat bagi kesehatan tubuh manusia dan diketahui tidak mengandung toksin sehingga aman untuk dikonsumsi (Dwi, 2021). Sehingga ekstrak kayu secang banyak dimanfaatkan sebagai obat tradisional. Adapun tahapan dalam pembuatan teh cascara dapat dilihat pada gambar 1.

Sampel kulit kopi merupakan limbah hasil pasca panen yang tidak digunakan dan dimanfaatkan oleh masyarakat Desa Bungin Kabupaten Mamasa. Pengambilan sampel diikuti dengan proses sortir dan pembersihan untuk memastikan kualitas bahan baku yang digunakan lebih higienis serta aman untuk diolah menjadi sebuah produk. Selanjutnya dilakukan proses pengeringan menggunakan *food dehydrator*, alat ini dipilih karena mampu bekerja dengan suhu rendah sehingga aman untuk menjaga kandungan senyawa aktif dari kerusakan (Indrayani *et al*., 2022). Setelah kering sampel mengalami proses pengecilan ukuran, tahap ini bertujuan untuk memudahkan proses ekstraksi saat diseduh dengan air panas. Kemudian dilakukan penambahan serbuk kayu secang dengan tiga dosis, penambahan ini bertujuan untuk memberikan warna, aroma dan rasa pada teh cascara. Selain itu kayu secang juga berkhasiat sebagai obat tradisional untuk pengobatan berbagai macam penyakit seperti diare, disentri, tetanus,malaria dan batuk. Proses berikutnya dilakukan penyeduhan yang merupakan proses ekstraksi menggunakan pelarut aquades yang bersifat murni, berwarna bening dan tidak berbau serta tidak memiliki rasa (Tominik & Haiti 2020). Penyeduhan dilakukan pada suhu 90 ^{0}C dengan lama penyeduhan 6 menit yang merupakan perlakuan terbaik pada penyeduhan teh cascara (Nafisah *et al*., 2018). Tahap akhir, dilakukan proses penyaringan menggunakan kertas saring tipe V6 untuk memisahkan ampas padat dari air seduhan sehingga diperoleh ekstrak yang jernih pada teh cascara.



Gambar 1. Proses pembuatan produk teh cascara

Uji Fisikokimia Teh Cascara dari Kulit Kopi dan Kayu Secang

Uji fisikokimia pada produk pangan, termasuk teh, berfungsi untuk menilai mutu, keamanan, serta konsistensi produk berdasarkan sifat fisik dan kimia yang terukur. Parameter seperti kadar air, pH, kadar abu, dan kandungan ekstrak larut dapat menjadi indikator kualitas daun teh. Hasil pengujian parameter fisikokimia pada teh cascara disajikan dan dianalisis untuk mengetahui sejauh mana variasi penambahan kayu secang mempengaruhi kualitas teh cascara yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata hasil uji fisikokimia teh cascara

Parameter	Dosis kayu secang				
	Kontrol	0,09 g	0,24 g	0,39 g	SNI 3836 -2013
Kadar air (%)	10,8%	10,9%	11,2%	11,7%	Maks.8,0%
Kadar Abu (%)	6,9%	7,0%	7,3%	7,3%	Maks.8,0%
Nilai pH	4,3	4,3	4,4	4,4	-

Hasil uji menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan ekstrak kayu secang menyebabkan beberapa parameter mengalami peningkatan persentasi. Kadar air masih melebihi standar SNI, namun secara keseluruhan kadar air teh cascara yang dibuat tidak berbeda jauh signifikan dengan standar teh yang ditentukan oleh SNI. Kadar abu teh cascara telah memenuhi standar SNI yaitu dibawah 8%, sedangkan untuk nilai pH berada di rentang 4 sampai 4,4.

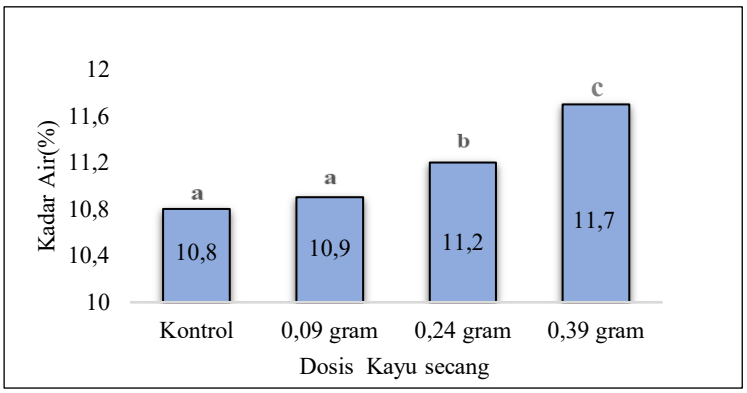
Hasil Analisis Varians dan Uji Lanjut Kadar Air

Kadar air akan berpengaruh pada mutu teh cascara khususnya umur simpan, kadar air yang terlalu tinggi dalam suatu produk akan menyebabkan produk tersebut lembab dan cepat rusak. Hasil analisis varians dan uji lanjut kadar air disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis varians kadar air

Sumber Keragaman	JK	DB	KT	F	Sig
Perlakuan	1,529	3	0,509	67,963	0,000**
Galat	0,06	8	0,008		
Total	1,589	11			

Ket: **= Berpengaruh sangat nyata; *= Berpengaruh; tn= tidak berpengaruh



Gambar 2. Hasil analisis uji lanjut Duncan kadar air

Hasil uji lanjut Duncan terhadap kadar air dengan menggunakan empat perlakuan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata antara perlakuan terhadap nilai kadar air. Penambahan dosis pada produk teh cascara memberikan pengaruh nyata terhadap

kadar air. Peningkatan nilai kadar air pada teh cascara diduga karena waktu pengeringan yang kurang maksimal sehingga menghasilkan nilai kadar air yang cukup tinggi, jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Guntoro & Utami (2019) menghasilkan nilai kadar air teh cascara sebesar 6,47% dengan waktu pengeringan 8 jam.

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Leswara *et al.,* (2024) menghasilkan kadar air serbuk kayu secang sebesar 5,75% dengan waktu pengeringan 24 jam. Berdasarkan penelitian Ariva *et al*., (2020), metode pengeringan terbaik untuk teh cascara adalah menggunakan oven konveksi pada suhu 45 ℃ selama 32 jam. Perlakukan ini menghasilkan kadar air total sebesar 6,570 ± 0,272%, sehingga dinilai sebagai kondisi pengeringan yang paling optimal. Oleh karena itu penggunaan alat pengering dan lama waktu pengeringan menjadi faktor yang penting untuk dipertimbangkan.

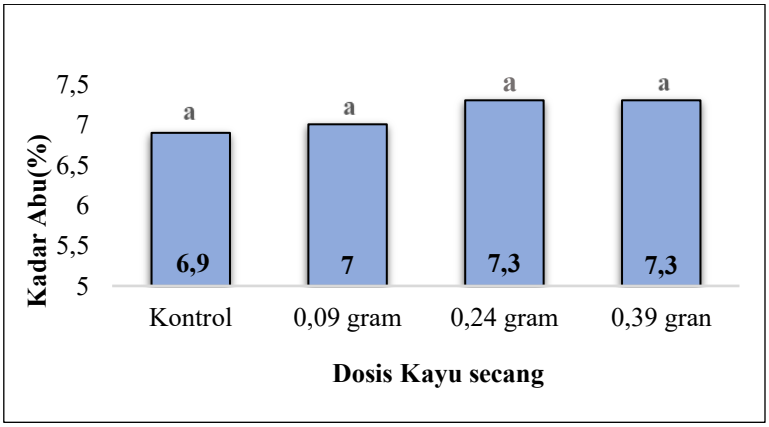
Hasil Analisis Varians dan Uji Lanjut Kadar Abu

Penentuan kadar abu berhubungan dengan kandungan mineral yang terdapat dalam suatu bahan pangan. Nashrullah *et al*., (2024), menyatakan kadar abu adalah unsur mineral atau zat organik yang terdapat dalam bahan pangan. Ketika proses pembakaran, bahan-bahan organik akan terbakar, dan abu yang tersisa adalah zat anorganik yang tidak ikut terbakar. Hasil analisis varians dan uji lanjut kadar abu disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil analisis varians kadar abu

Sumber Keragaman	JK	DB	KT	F	Sig
Perlakuan	0,287	3	0,096	1,593	0,266^{tn}
Galat	0,48	8	0,060		
Total	0,767	11			

Ket: **= Berpengaruh sangat nyata; *= Berpengaruh; tn= tidak berpengaruh



Gambar 3. Hasil uji lanjut Duncan terhadap kadar abu

Hasil uji lanjut Duncan terhadap kadar abu dengan menggunakan empat perlakuan menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan nyata antara setiap perlakuan dimana nilai kadar abu tertinggi ditunjukkan pada dosis 0,24 dan 0,39 dengan masing-masing nilai 7,3%. Namun secara umum nilai rata-rata kadar abu yang dihasilkan telah memenuhi standar SNI 3836-2013 dengan jumlah kadar abu maksimal 8,0% yang disajikan pada Tabel .

Meskipun tidak begitu berpengaruh nyata namun hasil menunjukkan bahwa semakin tinggi penambahan ekstrak kayu secang, kadar abu teh cascara semakin meningkat. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Irawan, *et al*., (2022), yang menunjukkan bahwa penambahan

ekstrak kayu secang meningkatkan kadar abu dari selai pala. Diketahui bahwa kayu secang mengandung berbagai mineral seperti kalsium (Ca), kalium (K), magnesium (Mg), dan fosfor (P), sehingga penambahan ekstrak kayu secang berpotensi meningkatkan kadar abu. Namun dalam penelitian ini menunjukkan penambahan kayu secang tidak berpengaruh nyata terhadap kadar abu the cascara, hal ini diduga karena konsentrasi mineral yang terekstrak dari kayu secang relative rendah atau jumlah ekstrak yang ditambahkan belum cukup untuk mengubah kandungan mineral total produk secara signifikan.

Menurut Juwita *et al*., (2017), kadar abu yang semakin tinggi menunjukkan bahwa produk tersebut kurang layak untuk dikonsumsi. Kandungan abu yang tinggi mengindikasikan tingginya unsur logam di dalamnya. Abu sendiri merupakan sisa mineral dari proses pembakaran suatu bahan, dengan komposisi mineral yang bervariasi baik dari segi jumlah maupun jenisnya. Hasil penelitian ini menunjukkan kadar abu teh cascara masih dibawah standar maksimal artinya tergolong aman untuk dikonsumsi.

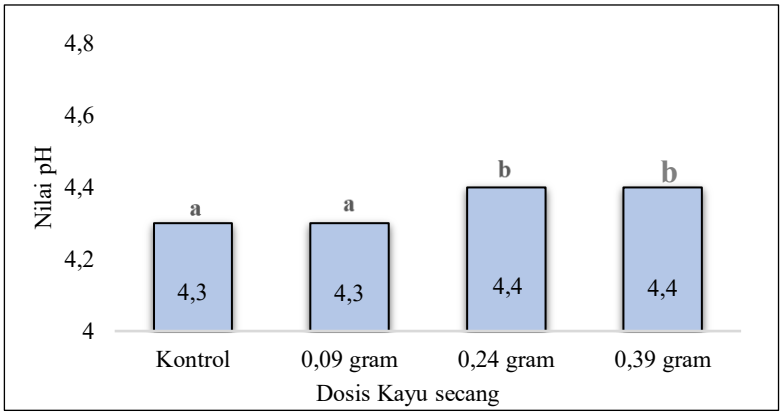
Hasil Analisis Varians dan Uji Lanjut Nilai pH

Hasil analisis varians dan uji lanjut nilai pH disajikan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil analisis varians nilai pH

Sumber Keragaman	JK	DB	KT	F	Sig
Perlakuan	0,007	3	0,002	9,518	0,005**
Galat	0,002	8	0,000		
Total	0,009	11			

Ket: **= Berpengaruh sangat nyata; *= Berpengaruh; tn= tidak berpengaruh



Gambar 4. Hasil uji lanjut Duncan terhadap Nilai pH

Pengujian pH dilakukan untuk menentukan tingkat keasaman suatu sediaan. Menurut Buckle (1985) dalam Dwiningrum *et al*., (2024), nilai pH berpengaruh terhadap daya simpan produk, dengan kisaran pH pangan yang baik berada antara 3,0 hingga 8,0. Beberapa mikroorganisme patogen maupun pembusuk dapat berkembang optimal pada pH tertentu, sehingga pengukuran pH penting untuk mengendalikan pertumbuhan mikroba dan menjamin keamanan minuman dari kontaminasi yang berpotensi membahayakan kesehatan.

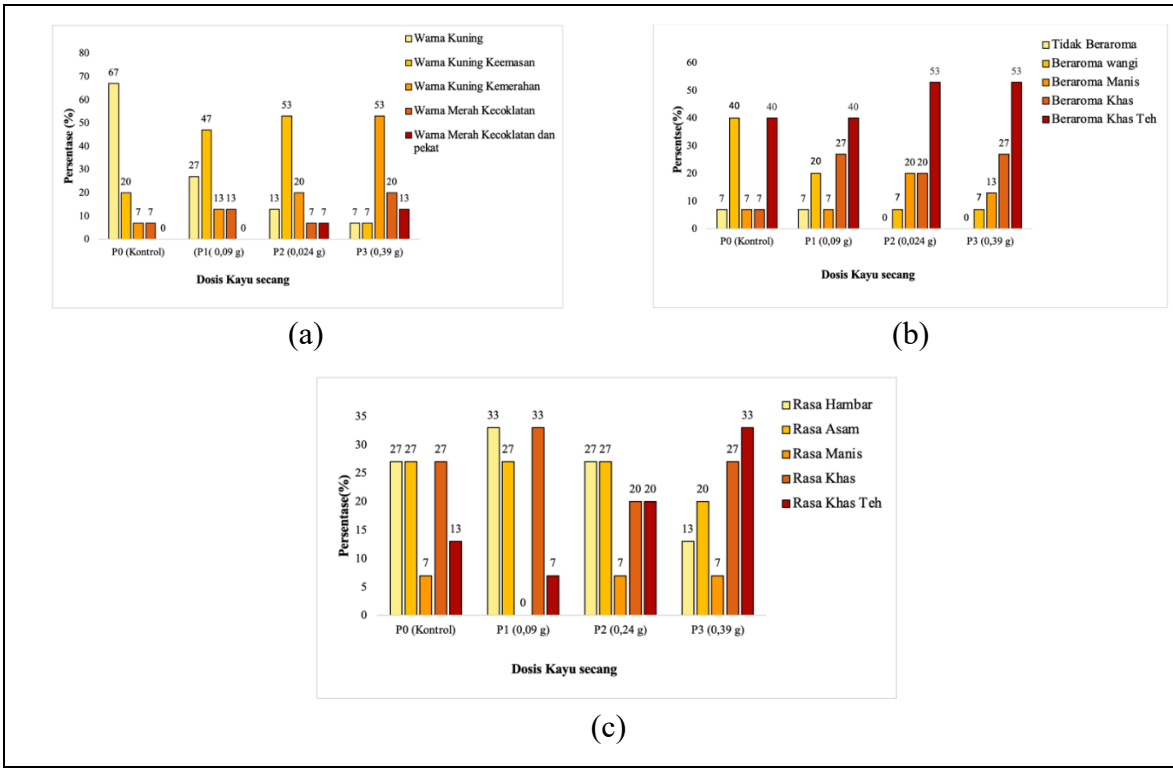
Hasil pengujian pH pada teh cascara kombinasi kulit kopi dan kayu secang pada kontrol dan dosis 0,09 g memiliki nilai pH masing-masing 4,3. Sedangkan untuk dosis 0,24 g dan 0,39 g terjadi peningkatan pH menjadi 4,4. Peningkatan nilai pH yang terjadi diduga karena adanya penambahan serbuk kayu secang. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan Kusumawati

& Suyanto (2023), yang mendeteksi bahwa ekstrak kayu secang memiliki nilai pH 6,2-7,0. Sehingga seiring dengan penambahan serbuk kayu secang jelas memberikan pengaruh terhadap nilai pH yang dapat mengurangi tingkat keasaman pada teh cascara.

Berdasarkan hasil tersebut, seluruh sediaan teh cascara memiliki nilai pH yang masih berada dalam kisaran yang dianjurkan oleh Buckle, yaitu antara 3,0 hingga 8,0, sehingga tergolong baik untuk produk pangan. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang oleh Guntoro & Utami (2019) dimana nilai pH mencapai 4,28 dalam pembuatan teh cascara.

Hasil Uji Organoleptik Teh Cascara

Uji organoleptik merupakan sebuah uji bahan makanan berdasarkan kesukaan dan keinginan pada suatu produk. Uji organoleptik biasa disebut juga dengan uji indra atau uji sensori yang melakukan pengujian dengan menggunakan indra manusia sebagai alat pengukuran terhadap produk (Gusnadi *et al*., 2021). Panelis dalam penelitian ini berjumlah 15 orang yang terdiri dari 5 dosen dan 5 mahasiswa Universitas Sulawesi Barat dan 5 masyarakat umum. Parameter uji meliputi warna, aroma dan rasa (Gambar 5.).



Gambar 5. Hasil uji organoleptik (a) warna, (b) aroma, (c) rasa

Warna adalah salah satu penilaian penting secara fisik pada suatu bahan makanan. Tingkat kesukaan konsumen terhadap suatu produk pangan ditentukan oleh warna produk tersebut dan sangat bergantung pada mutu penilaian bahan pangan (Raya *et al*., 2025). Perubahan warna pada teh cascara dengan penambahan serbuk kayu secang disebabkan karena kayu secang mengandung zat brazilin (Dwi, 2021). Sehingga pada proses penyeduhan komponen yang terlarut adalah komponen yang menghasilkan warna merah yaitu brazilin. Brazilin merupakan kristal tidak berwarna atau kuning pucat yang dapat memberikan warna merah jambu jika dilarutkan kedalam air (Pujimulyani & Indarti, 2018).

Hasil penelitian untuk aroma menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis kayu secang maka akan memberikan

pengaruh pada aroma teh cascara. Aroma yang dihasilkan pada teh cascara memiliki aroma khas seperti teh herbal namun aromanya tidak pekat (Juwita *et al.,* 2017). Sehingga penambahan serbuk kayu secang memberikan perubahan aroma yang khas aromatik dari kayu secang terhadap teh cascara yang disukai oleh panelis.

Hasil penelitian untuk rasa menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis serbuk kayu secang yang digunakan dapat mengurangi rasa asam pada teh cascara. Rasa asam yang dihasilkan teh cascara berasal dari buah kopi arabika (Garis *et al*., 2019). Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan Lestari (2021) yang mendeteksi bahwa kopi arabika memiliki kandungan asam klorogenat sehingga mempengaruhi rasa asam pada teh cascara. Oleh karena itu, penambahan serbuk kayu secang pada teh cascara memberikan pengaruh rasa khas yang pekat dan khas teh serta dapat mengurangi rasa asam yang disebabkan karena ekstrak kayu secang memiliki nilai pH 6,2-7,0 (Kusumawati & Suyanto, 2023).

Hasil uji organoleptik menunjukkan bahwa teh cascara yang diberi penambahan serbuk kayu secang pada setiap parameter menghasilkan perlakuan terbaik dan disukai oleh panelis. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa sampel P3 dengan dosis 3 gram kulit kopi + 0,39 gram serbuk kayu secang lebih disukai oleh panelis disbanding dengan sampel lainnya. Sampel P3 menghasilkan warna kuning kemerahan, aroma khas teh dan rasa khas teh.

Teh cascara memiliki karakteristik cita rasa yang khas serta berbagai manfaat bagi Kesehatan. Beberapa manfaat the cascara antara lain sebagai sumber antioksidan yang berperan dalam menangkal radikal bebas, membantu melindungi Kesehatan lambung, serta mendukung pemeliharaan Kesehatan kulit. Kandungan antioksidan yang tinggi pada cascara berpotensi menghambat kerusakan sel akibat stress oksidatif, sehingga dapat berkontribusi dalam pencegahan perkembangan sel kanker dan peningkatan daya tahan tubuh (Sari, *et al*., 2021).

SIMPULAN

Teh cascara berbahan dasar limbah kulit kopi dengan penambahan serbuk kayu secang berhasil dikembangkan sebagai produk minuman fungsional bernilai tambah. Penambahan serbuk kayu secang meningkatkan kadar abu dan pH teh cascara, dengan nilai kadar abu (6,9–7,3%) memenuhi standar SNI, sedangkan kadar air (10,8–11,7%) masih melebihi batas SNI. Nilai pH yang dihasilkan (4,3–4,4) masih berada dalam kisaran yang baik untuk produk pangan. Secara organoleptik, penambahan kayu secang memberikan warna, aroma, dan rasa yang lebih disukai panelis. Produk ini berpotensi menjadi alternatif pemanfaatan limbah kulit kopi sekaligus mendukung pengembangan hasil hutan bukan kayu (HHBK) yang bernilai ekonomi dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

Amran, A. (2023). Peningkatan Keterampilan Masyarakat Petani Kopi Desa Kurrak dalam Biokonversi Limbah Kulit Buah Kopi Menjadi Kompos. *Jurnal Abdimas Ilmiah Citra Bakti*, 4(2), 360-368.

Ariva, A. N., Widyasanti, A., & Nurjanah, S. (2020). Pengaruh Suhu Pengeringan Terhadap Mutu Teh Cascara dari Kulit Kopi Arabika (*Coffea arabica*). *Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia*, *12*(1), 21-28.

Azliani, N., & Nurhayati, I. (2018). Pengaruh Penambahan Level Ekstrak Kayu Secang (Caesalpinia sappan L.) sebagai Pewarna Alami Terhadap Mutu Organoleptik Kue Cubit Mocaf. *Jurnal Dunia Gizi*, *1*(1), 45-51.

Chairuddin, Z., & Abdullah, N. (2023). Analisis Skalogram: Studi Kasus Pengembangan Kopi Mamasa Berbasis Kesesuaian Lahan dan Sarana Fasilitas Penunjang di Kabupaten Mamasa: *Scalogram Analysis: Case Study of Mamasa Coffee Development Based on Land Suitability and Supporting*

Facilities in Mamasa Regency. *Jurnal Ecosolum*, 12(1), 86-104.

Darmawan, E., & Hakim, I. S. (2024). Kajian Lama Waktu Pengeringan Terhadap Sifat Antioksidan Teh Cascara. *Agrotech: Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian*, *6*(1), 1-10.

Dwi, P. (2021). *Pengaruh Penambahan Ekstrak Kayu Secang (Caesalpinia sappan L.) sebagai Pewarna Alami dan Antioksidan dalam Meningkatkan Mutu Sirup Daging Buah Pala (Myristica fragrans)*. [Disertasi]. Universitas Andalas.

Dwiningrum, S.J., Hajrah, & Rijai, H.R. (2024). Pembuatan Teh Celup Kombinasi Daun Jambu Biji (*Psidium guajava*) dan Daun Sirsak (*Annona muricata L*.) sebagai Antioksidan. *Jurnal Syntax Idea*, *6*(6), 2619-2637.

Fitriani Lubis, N. (2023). *Pengaruh Lama Pengeringan Terhadap Sifat Fisikokimia dan Organoleptik Minuman Cascara Robusta (Coffea Canephora)*. [Disertasi]. Universitas Jambi.

Garis, P., Romalasari, A., & Purwasih, R. (2019). Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi Cascara Menjadi Teh Celup. *In Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, *10*(1), 279-285.

Guntoro, G., & Utami, S. S. (2019). Jenis Alat dan Lama Pengeringan Terhadap Kualitas Mutu pada Pembuatan Teh Cascara. *Prosiding*. Politeknik Negeri Jember.

Gusnadi, D., Taufiq, R., & Baharta, E. (2021). Uji Oranoleptik dan Daya Terima pada Produk Mousse Berbasis Tapai Singkong sebegai Komoditi UMKM di Kabupaten Bandung. *Jurnal Inovasi Penelitian*, *1*(12),2883-2888.

Indrayani, N. M. K., Sunaryono, J. G., & Purwanti, E. W. (2022). Analisis Nilai Tambah Kulit Kopi Arabika (Coffea arabica) sebagai Produk Olahan Teh Celup Cascara di Desa Taji Kecamatan Jabung Kabupaten Malang. *Jurnal Pengolahan Pangangan, 7*(2), 67-74.

Irawan, E.W., Sipahelut, S.G., & Mailoa, M. (2022). Potensi Ekstrak Kayu Secang (*Caesalpinia sappan* L.) sebagai Pewarna Alami dalam Pembuatan Selai Pala (*Myristica fragrans* H.). *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, *15*(1), 74-82.

Juwita, I., Mustafa, A., & Tamrin, R. (2017). Kulit Kopi Arabika (*Coffee Arabica* L.) sebagai Mikro Organisme Lokal (MOL). *Jurnal Agrointek*, *11*(1), 1-8.

Kusumawati, A., & Suyanto, A. (2023). Analisis Total Mikroba, Mutu Fisik, dan Sensoris Sirup Kawista Dengan Penambahan Kayu Secang. *Jurnal Pangan dan Gizi*, *13*(1), 50-58.

Lestari, I., Prabandari, S., & Febriyanti, R. (2021). *Kombinasi Ekstrak Etanol Biji Kopi Arabika (Coffea arabica L.) dan Coklat (Theobromacacao) pada Pembuatan Lilin Aromaterapi*. [Disertasi]. Politeknik Harapan Bersama Tegal.

Leswara, D.F., Nurhasanah, D., & Retno, M. (2024). Uji Aktivitas Antibakteri Infusa Kayu Secang (*Caesalpinia Sappan* L.) terhadap Bakteri *Escherichia coli ATCC 25922* dan *Staphylococcus aureus ATCC 25923*. *Journal of Pharmaceutical*, *2*(2), 70-82.

Maharani, S. D., Widyasanti, A., & Nurhasanah, S. (2024). Proses Pengeringan Kulit Kopi Arabika (Coffea Arabica) sebagai Bahan Baku Minuman Cascara Kering Menggunakan Food Dehydrator. *In Seminar Nasional Pariwisata dan Kewirausahaan (SNPK),* 3, 685-689.

Nafisah, D., & Widyaningsih, T. D. (2018). Kajian Metode Pengeringan dan Rasio Penyeduhan pada Proses Pembuatan Teh Cascara Kopi Arabika (*Coffea arabika L.*). *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, *6*(3), 37-47.

Nalurita, I., Suwasono, S., Kuswardhani, N., & Isnain, F. S. (2023). Kualitas Produk Cascara Celup Dengan Penambahan

Volume 8 Nomor 1 Juni 2026: 12-22

Jahe Merah *(Zingiber officinale var. Rubrum): Product Quality of Cascara Infusion with the Addition of Red Ginger (Zingiber officinale var. Rubrum), 9*(1), 1-11.

Nashrullah, I. A. A., Putri, S. H., & Widyasanti, A. (2024). Penambahan Ekstrak Jeruk Nipis sebagai Penambah Citarasa pada Teh Cascara Terhadap Sifat Fisikokimia. *Teknotan: Jurnal Industri Teknologi Pertanian*, *18*(1), 71-78.

Nasywa, P., Harahap, N., Maitrianti, C., & Sakdiah, H. (2024). Analisis Potensi Minuman Herbal dari Kunyit *(Curcuma Longa*) dan Asam Jawa (*Tamarindus Indica*). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa*, *2*(1),20-28.

Prayoga, R. D., Setyoko, U., Nugroho, S. A., & Kusumaningtyas, R. N. (2024). Uji Organoleptik "Teh" Cascara Kulit Buah Kopi Robusta (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) Berdasarkan Lama Waktu Pengeringan dan Penyeduhan. *In Agropross: National Conference Proceedings of Agriculture*, 674-682.

Ramadhan, M. G., Rendi, R., & Destiana, I. D. (2022). Karakteristik Fisikokimia dan Antibakteri Sabun Padat dengan Penambahan Ekstrak Kulit Kopi Arabika (*Coffea arabica L.*). *Jurnal Teknotan*, *6*(1), 19-24.

Raya, M.K., Astuti, N.B., Rahayu, E.S., & Wicaksono, F. (2025). Uji Organoleptik Biskuit Ulat Sagu (*Rhynchophorus ferruginesus*) Khas Papua. *Jurnal Gema Kesehatan, 17*(1), 21-32.

Rezky, S. (2023). *Kajian Pembuatan Teh Cascara Dari Kulit Kopi Solok Rajo Dengan Variasi Metode Pengeringan dan Ketebalan Lapisan Bahan*. [Disertasi]. Universitas Andalas.

Sari, E.K.N. (2021). Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi menjadi Produk Cascara Bernilai Ekonomis Tinggi di Desa Kemuning Lor. *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)*, *7*(3), 166-172.

Tominik, V. I., & Haiti, M. (2020). Limbah Air AC sebagai Pelarut Media Sabouraud Dextrose Agar (SDA) pada Jamur Candida Albicans. *Masker Medika Jurnal Stikes Muhamadiyah Palembang*, *8*(1), 15-20.

Zai, A., & Bimantio, M. P. (2023). Minuman Fungsional Kulit Kopi Arabica (Cascara) dengan Penambahan Bubuk Kayu Manis (*Cinnamomum Burmanii*). *AGROFORETECH,1*(1),492-505.

Volume 8 Nomor 1 Juni 2026: 23-35

TURNOVER KOMUNITAS DAN KEANEKARAGAMAN JENIS KUPU-KUPU (*LEPIDOPTERA*: *RHOPALOCERA*) DI RIPARIAN SUNGAI PANEKI, DESA POMBEWE, KECAMATAN SIGI BIROMARU

Community Turnover and Species Diversity of Butterflies (Lepidoptera: Rhopalocera) in the Paneki River Riparian Zone, Pombewe Village, Sigi Biromaru District

Fauziah Ramadhana[1], Moh. Ihsan[1], Sri Ningsih[1], Rukmi[1], Sustri[1]
[1]*Program Studi Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Tadulako*
Jl. Soekarno Hatta Km. 9 Palu, Sulawesi Tengah 94118
e-mail: framadhana24@gmail.com

ABSTRACT

The Paneki River riparian zone is a habitat that strongly supports the life cycle of butterflies. As a group of insects that are sensitive to environmental changes, butterflies have the potential to serve as bioindicators of riparian habitat quality. However, environmental changes inevitably occur over time and may affect butterfly community composition and diversity. This study aimed to determine butterfly species richness and diversity and to estimate the magnitude of biodiversity loss and gain in the Paneki River riparian zone. Data were collected using a transect walk method combined with butterfly capture using insect nets. Data analysis included species richness, the Shannon–Wiener diversity index (H'), the evenness index (E), the Margalef species richness index (Dmg), biodiversity loss and gain analysis were assessed through a temporal comparison of butterfly species composition between the current survey (2025) and a previous study conducted (2024) at the same study site. Species loss represented previously recorded species that were no longer detected, whereas species gain represented newly recorded species in the current survey, providing an estimate of community turnover over time. The results recorded 35 butterfly species belonging to five families: Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae, Lycaenidae, and Hesperiidae. The diversity index (H' = 3.05), evenness index (E = 0.85), and species richness index (Dmg = 7.57) indicate that the Paneki River riparian habitat continues to support a diverse and relatively stable butterfly community. Species loss of 36.84% and species gain of 45.61% indicate a high butterfly community turnover, suggesting changes in species composition between the previous (2024) and current (2025) sampling periods in the Paneki River riparian habitat.

Keywords: *Butterflies; Community Turnover; Paneki River; Riparian Zone; Species Richness*

ABSTRAK

Riparian Sungai Paneki merupakan habitat yang sangat mendukung kehidupan siklus kupu-kupu. Kupu-kupu merupakan kelompok serangga yang sensitif terhadap perubahan lingkungan sehingga berpotensi sebagai salah satu bioindikator kualitas habitat riparian. Namun, seiring berjalannya waktu, perubahan lingkungan pasti terjadi. Hal ini dapat membuat kupu-kupu rentan terhadap perubahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keanekaragaman jenis serta menduga besaran kehilangan dan perolehan biodiversitas (*loss and gain*) kupu-kupu pada habitat riparian Sungai Paneki. Pengambilan data dilakukan menggunaan metode transek jalur yang dikombinasikan dengan penangkapan menggunakan jaring serangga. Analisis data meliputi jumlah jenis, indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H'), indeks kemerataan (E), indeks kekayaan jenis Margalef (Dmg), serta analisis kehilangan dan perolehan biodiversitas melalui perbandingan komposisi jenis hasil penelitian tahun 2025 dan tahun 2024 pada lokasi yang sama. Persentase kehilangan jenis dihitung berdasarkan jumlah jenis yang sebelumnya tercatat tetapi tidak ditemukan pada penelitian saat ini, sedangkan persentase perolehan jenis

dihitung berdasarkan jumlah jenis baru yang ditemukan pada penelitian saat ini dibandingkan dengan data sebelumnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 35 jenis kupu yang tergolong ke dalam 5 famili (*Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae, Lycaenidae*, dan *Hesperiidae*). Nilai indeks keanekaragaman (H'=3.05), kemerataan (E=0.85), dan kekayaan jenis (Dmg=7.57) menunjukkan bahwa habitat riparian Sungai Paneki masih mampu mendukung komunitas kupu-kupu yang beragam dan relatif stabil. Persentase nilai kehilangan jenis sebesar 36.84% dan perolehan jenis sebesar 45.61% menunjukkan tingginya turnover komunitas kupu-kupu, yang mengindikasikan terjadinya perubahan komposisi jenis antara periode pengamatan sebelumnya (2024) dan saat ini (2025) pada habitat riparian Sungai Paneki.
Kata Kunci : Kupu-kupu; Perubahan Komunitas; Sungai Paneki; Riparian; Kekayaan Spesies

PENDAHULUAN

Kupu-kupu (*Lepidoptera*) merupakan kelompok serangga yang memiliki peran ekologis penting di ekosistem riparian karena bergantung pada vegetasi sebagai sumber pakan larva (*hostplant*), penyedia nektar (*foodplant*) saat fase dewasa dan aktivitas harian seperti *basking*, *mud-puddling*, kawin (Cabette *et al*., 2017; An & Choi, 2021; Han *et al*., 2022), serta sebagai *roosting site* (tempat beristirahat) (Mou Chang *et al*., 2020). Sensitivitas kupu-kupu terhadap perubahan lingkungan menjadikan kupu-kupu sebagai salah satu bioindikator yang efektif untuk menilai kualitas habitat riparian (Nelson, 2007; Halder *et al*., 2015; Mahata e*t al*., 2023; Ting Lin, *et al*., 2025).

Selain itu, kupu-kupu menunjukkan kecenderungan melakukan perilaku *puddling* (Ankola *et al*., 2021; Lamie *et al*., 2025), yaitu mengisap cairan pada substrat lembap yang kaya mineral. Kondisi habitat riparian yang menyediakan area tanah basah, endapan lumpur, dan tepian Sungai yang terbuka mendukung terjadinya perilaku tersebut. Riparian dengan vegetasi yang kompleks mampu menyediakan kondisi mikrohabitat yang mendukung kelangsungan hidup kupu-kupu, termasuk ketersediaan sumber pakan, tumbuhan inang, dan kondisi lingkungan yang sesuai untuk perkembangan larva (*diapause*), (Halder *et al*., 2015; Mahata *et al*., 2023).

Sungai Paneki adalah salah satu sumber mata air yang terletak di Desa Pombewe, Kecamatan Sigi Biromaru, Kabupaten Sigi, Sulawesi Tengah. Sungai ini merupakan salah satu ekosistem riparian penting di Kabupaten Sigi yang memiliki karakteristik hidrologi dinamis (Pratama *et al*., 2023). Ramadhana *et al*., (2025a), juga menjelaskan bahwa riparian Sungai Paneki memiliki vegetasi yang beragam dan berfungsi sebagai habitat penting bagi aktivitas kupu-kupu. Ditambahkan bahwa sepanjang aliran sungai ini juga terdapat area yang terbuka akibat penebangan atau pembersihan vegetasi. Demikian, perubahan penggunaan lahan di sekitar riparian sungai dapat berpotensi mengubah struktur vegetasi, memengaruhi komposisi tumbuhan bawah, dan perubahan kondisi mikrohabitat.

Berdasarkan adanya perubahan kondisi habitat riparian akibat dinamika vegetasi dan penggunaan lahan di sekitar Sungai Paneki, diduga telah terjadi perubahan komposisi komunitas kupu-kupu yang ditandai oleh hilangnya beberapa jenis yang sebelumnya tercatat (*species loss*) dan munculnya jenis baru (*species gain*). Perubahan komposisi tersebut mencerminkan terjadinya *turnover* komunitas kupu-kupu pada habitat riparian Sungai Paneki. Menurut Ki *et al*., (2025), perubahan komposisi komunitas (*turnover)* dapat menjadi indikator penting untuk memahami respon komunitas, khsususnya kupu-kupu terhadap perubahan habitat.

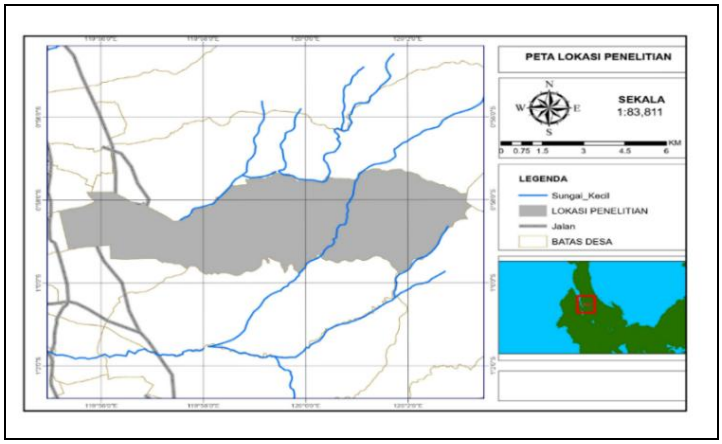
Sebagian besar penelitian kupu-kupu saat ini masih berfokus pada keanekaragaman jenis, seperti beberapa penelitian di riparian Sungai telah dilakukan oleh Handiargo *et al*., (2025) pada riparian Sungai Wain, Balikpapan tentang distribusi dan keanekaragaman jenis; Ramadhana *et al.,* (2025b) pada riparian Sungai Bakubakulu

tentang pola sebaran; dan Ramadhana et al (2025a) pada riparian Sungai Paneki tentang asosiasi kupu-kupu. Saat ini, belum terdapat kajian yang mengevaluasi *turnover* komunitas kupu-kupu pada habitat riparian di kawasan Wallacea. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keanekaragaman jenis kupu-kupu serta menduga besaran kehilangan dan perolehan biodiversitas sebagai indikator *turnover* komunitas kupu-kupu pada habitat riparian Sungai Paneki.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di riparian Sungai Paneki, Desa Pombewe, Kecamatan Sigi Biromaru Provinsi Sulawesi Tengah. Pengambilan data dilakukan pada bulan November 2025. Area penelitian merupakan habitat riparian sungai dengan kombinasi vegetasi alami dan area terbuka yang berpotensi menjadi habitat dan aktivitas berbagai jenis kupu-kupu.



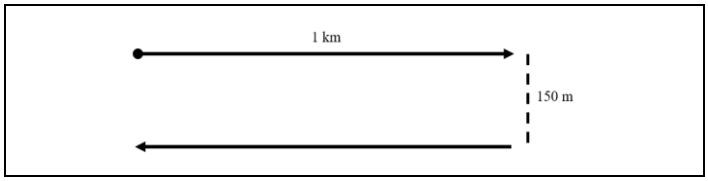
Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah jaring kupu-kupu, kertas papilot, box spesimen, jam tangan, *tally sheet*, kamera dokumentasi, dan buku identifikasi lapangan/panduan. Identifikasi mengacu pada literatur utama seperti *The Butterflies of Sulawesi* (Vane & De Jong, 2003), *A World of Butterflies* (Cassie, 2010), *Butterflies of Peninsular Malasyia*, *Singapore and Thailand* (Kirton, 2014) serta aplikasi Kupunesia. Bahan yang digunakan adalah kapur barus sebagai bahan pengawet spesimen.

Metode Pengambilan Data

Pengambilan data kupu-kupu dilakukan secara langsung. Pengambilan data secara langsung menggunakan metode transek jalur dikombinasikan dengan penangkapan kupu-kupu menggunakan alat jaring kupu-kupu. Pengambilan data metode transek jalur dilakukan dengan berjalan pada jalur pengamatan sepanjang 1 km (Gambar 2). Pengamat berjalan lurus sepanjang 1 km, kemudian berbelok 90^{o} dan berjalan sejauh 150 m, dan berjalan kembali sepanjang 1 km ke arah yang berlawanan (Bismark, 2011; Mutmainnah (2018) *dalam* Lestari *et al*., 2023).



Gambar 2. Ilustrasi metode transek jalur

Pengamatan dilakukan pada kondisi cuaca cerah pada pukul 08.00-15.00 WITA yang merupakan periode puncak aktivitas harian kupu-kupu. Setiap individu yang dijumpai dicatat dan diidentifikasi secara langsung. Individu yang sulit diidentifikasi di

lapangan ditangkap menggunakan jaring serangga, dimasukkan ke dalam kertas papilot, dan diidentifikasi lebih lanjut di Laboratorium Ilmu-ilmu Kehutanan, Fakultas Kehutanan, untuk diidentifikasi lebih lanjut. Adapun perbandingan desain pengamatan pada tahun 2024 dan tahun 2025 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan desain pengamatan tahun 2024 dan 2025

Komponen	Tahun 2024	Tahun 2025
Lokasi	Riparian Sungai Paneki	Riparian Sungai Paneki
Metode	Transek jalur	Transek jalur
Panjang transek	1 km	1 km
Waktu pengamatan harian	08.00-14.00 WITA	08.00-15.00 WITA
Bulan pengamatan	Juli–Agustus 2024	Oktober-November 2025
Interval waktu	–	±15–16 bulan

Analisis Data

Identifikasi jenis kupu-kupu pada habitat dilakukan dengan memasukkan semua jenis data ke dalam sebuah tabel yang dapat memperlihatkan jenis-jenis kupu-kupu yang hadir pada habitat tersebut, khususnya di wilayah studi penelitian (Tabel 2.).

Tabel 2. Komposisi jenis kupu-kupu

No.	Famili	Jenis	Jumlah individu

Keterangan: *=Endemik; **=Appendix – (CITES), -- (IUCN), -- (Peraturan Pemerintah)

Analisis data yang digunakan pada penelitian ini tersaji pada Tabel 3. Analisis data yang digunakan adalah jumlah jenis, indeks keanekaragaman Shannon-wiener (H'), indeks kekayaan jenis Margalef (Dmg), indeks kemerataan (E), serta persentase kehilangan dan perolehan jenis (*loss and gain*). Selain itu, dilakukan analisis deskriptif terhadap jenis kupu-kupu yang ditemukan dengan melakukan klasifikasi pada status konservasi yang merujuk pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 106 Tahun 2018, kategori IUCN *Red List* dan Appendix CITES.

Analisis *turnover* komunitas dilakukan melalui perbandingan komposisi jenis kupu-kupu hasil penelitian tahun 2025 dengan data sebelumnya di lokasi yang sama pada tahun 2024. Interval kedua pengamatan sekitar 15 – 16 bulan. Kedua penelitian menggunakan metode yang sama, yaitu transek jalur. Namun, pengamatan dilakukan pada bulan dan musim yang berbeda sehingga hasil analisis *turnover* perlu diinterpretasikan secara hati-hati karena variasi musiman dapat memengaruhi komposisi jenis kupu-kupu yang terdeteksi.

Turnover komunitas dianalisis menggunakan pendekatan beta diversity Baselga (2010), berdasarkan data kehadiran-ketidakhadiran (*presence-absence*) jenis kupu-kupu antara tahun 2024 dan 2025. Total beta diversity dihitung menggunakan indeks Sorensen (βSOR), yang kemudian dipisahkan menjadi dua komponen, yaitu *turnover* (βSIM) dan *nestedness-resultant* (βNES). Komponen *turnover* (βSIM) menggambarkan perubahan komposisi komunitas akibat pergantian jenis, sedangkan komponen *nestedness* (βNES) menunjukkan perubahan komposisi yang disebabkan oleh kehilangan atau perolehan jenis tanpa adanya penggantian jenis. Analisis dilakukan berdasarkan formulasi yang dikembangkan oleh Baselga (2010).

Tabel 3. Analisis data dan notasi rumus

Analisis	Notasi Rumus	Referensi
Jumlah jenis (*total number of species*)	S = jenis (*species*) 1 + jenis (*species*) 2 + … + jenis (*species*) n S = jumlah jenis (*number of species*)	(1)
Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (*Shannon-wiener's diversity indeks*)	$H' = -\sum_{i=0}^{n} \left(\frac{ni}{N}\right) ln \left(\frac{ni}{N}\right)$ H'= indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (*Shannon-wiener's diversity indeks*) Ln = logaritma natural (*natural logarithm*) n-i = jumlah individu jenis ke – i (*number of individuals of species-i*) N = total jumlah individu dari semua jenis yang ditemukan (*total number of individuals of all species found*)	(2)
Indeks kekayaan jenis Margalef (*Margalef's richness index*)	$Dmg = \frac{(S-1)}{\ln(N)}$ Dmg = indeks kekayaan jenis Margalef (*Margalef's richness index*) Ln = logaritma natural (*natural logarithm*) S = jumlah jenis (*number of species*) N = total jumlah individu dari semua jenis yang ditemukan (*total number of indiduals of all species found*)	(3)
Indeks kemerataan Evennes (*Evennes's evenness index*)	$E = \frac{H'}{\ln S}$ E = indeks kemerataan Evennes (*Evennes's evenness index*) H'= indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (*Shannon-wiener's diversity indeks*) Ln = logaritma natural (*natural logarithm*) S = jumlah jenis (*number of species*)	(4)
Besaran persentase kehilangan dan perolehan jenis (*The percentage of species loss-gain*)	$\frac{L}{G} = \frac{A}{B} x\ 100\%$ L = jenis kupu-kupu yang hilang (*loss type of butterfly*) G = jenis kupu-kupu yang diperoleh (*gain type of butterfly*) A = jumlah jenis yang hilang atau diperoleh (*number of species loss or gain*) B = total jumlah jenis (*total numbet of species*)	(5)
SØrensen dissimilarity index	$\beta_{sor} = \frac{b+c}{2a+b+c}$ a = jumlah jenis yang ditemukan pada kedua periode pengamatan b = jumlah jenis yang hanya ditemukan pada tahun 2024 c = jumlah jenis yang hanya ditemukan pada tahun 2025	Sorensen (1948) *dalam* Baselga (2010) (6)
Simpson dissimilarity index	$\beta_{sim} = \frac{\min(b.c)}{a+\min(b,c)}$ Min (b,c) = nilai terkecil antara b dan c	Simpson (1943) *dalam* Baselga (2010) (7)
Nestedness-resultant dissimilarity	$\beta_{nes} = \beta_{sor} - \beta_{sim}$ β_{sor} = SØrensen dissimilarity index β_{sim} = Simpson dissimilarity index	Baselga, 2010 (8)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keanekaragaman Jenis Kupu-kupu

Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan sebanyak 35 jenis kupu-kupu di riparian Sungai Paneki yang tergolong ke dalam 5 famili (*Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae, Lycaenidae,* dan *Hesperiidae*) dengan total 89 individu (Tabel 4.). Famili *Nymphalidae* merupakan famili dengan jumlah jenis tertinggi, yaitu 18 jenis atau 51,43% dari total jenis yang ditemukan.

Selanjutnya diikuti oleh *Pieridae* sebanyak 8 jenis (22,86%), *Papilionidae* dan *Lycaenidae* masing-masing 5 jenis (14,29%), serta *Hesperiidae* sebanyak 1 jenis (2,86%).

Famili *Nymphalidae* merupakan famili dengan jumlah jenis terbanyak yaitu 18 jenis. Dominansi famili ini umum dijumpai pada habitat riparian tropis karena kemampuan adaptasi yang tinggi serta sebagian besar anggotanya bersifat *kosmopolit* dan *polifag* terhadap sumber pakan (Rohman *et al*., 2019; Lin *et al*., 2025). Habitat riparian Sungai Paneki yang memiliki vegetasi heterogen (Ramadhana *et al*., 2025a) menyediakan berbagai sumberdaya, seperti tumbuhan berbunga, area terbuka, dan area lembab di tepian sungai yang mendukung keberadaan berbagai jenis *Nymphalidae*. Selain itu, famili ini memiliki toleransi habitat yang luas dan kemampuan dispersal yang baik, sehingga lebih mampu memanfaatkan sumberdaya pada habitat yang beragam dibandingkan spesies yang lebih spesialis (Ki *et al*., 2025; Sielezniew *et al*., 2025; Viljur & Teder, 2018). Kondisi tersebut menyebabkan famili *Nymphalidae* lebih mudah ditemukan dibanding famili lainnya.

Famili *Pieridae* menunjukkan kelimpahan individu yang relatif tinggi, terutama *Pareronia tritaea* dan *Eurema tominia tominia*. Kondisi ini diduga berkaitan dengan ketersediaan area terbuka pada habitat riparian Sungai Paneki yang menyediakan intensitas cahaya tinggi serta substrat lembap yang mendukung aktivitas kupu-kupu. Anggota famili *Pieridae* umumnya memanfaatkan area terbuka untuk mencari bunga-bunga (menghisap nektar), dan sering melakukan perilaku *mud-puddling*, yaitu mengisap air dan garam mineral dari pasir, genangan air, atau tanah basah untuk memenuhi kebutuhan nutrisi tertentu (Rohman *et al*., 2019). Karakteristik habitat tersebut memungkinkan famili *Pieridae* memanfaatkan sumber daya yang tersedia secara optimal. Tingginya kesesuaian habitat ini tercermin dari dominansi *Pareronia tritaea*, yang merupakan spesies dengan jumlah individu tertinggi, yaitu sebanyak 15 individu.

Famili *Papilionidae* ditemukan dalam jumlah jenis yang lebih sedikit namum memiliki nilai ekologis penting sebagai indikator kualitas habitat. Famili *Papilionidae* umumnya memiliki ukuran tubuh besar, kemampuan jelajah tinggi, serta ketergantungan terhadap tumbuhan inang tertentu. Sehingga kehadiran spesies berukuran besar dari famili *Papilionidae* menunjukkan bahwa lanskap riparian masih berfungsi sebagai jalur pergerakan dan sumber pakan bagi spesies dengan kemampuan dispersal tinggi.

Famili *Lycaenidae* dan *Hesperiidae* ditemukan dalam jumlah jenis yang lebih sedikit. Kelompok famili ini umumnya memiliki ukuran tubuh kecil, pola terbang cepat, serta aktivitas yang cenderung sulit diamati. Sementara itu salah satu famili yang sedikit dijumpai di lokasi adalah famili *Hesperidae*. Menurut Shalihah *et al*., (2012) dalam Ramlah *et al*., (2022), bahwa jenis kupu-kupu yang termasuk ke dalam famili *Hesperiidae* biasanya aktif menjelang malam atau pada waktu cahaya matahari masih remang-remang di pagi hari yang disebut krepuskuler. Hal ini dapat disebabkan dengan waktu pengamatan yang terbatas pada saat sore hari, sehingga peluang terdeteksi selama pengamatan relatif lebih kecil.

Beberapa taksa endemik seperti *Neptis ida celebensis, Euploea hewitsonii*, *Junonia intermedia*, *Cyrestis paulinus*, *Rohana macar, Faunis menado*, *Moduza lymire*, *Vindula dejone ssp*., *Graphium deucalion*, *Graphium meyeri*, *Graphium rhesus*, *Eurema tominia tominia*, *Pareronia tritaea*, dan *Psychonotis piepersii* ditemukan dalam penelitian ini, yang menegaskan pentingnya habitat riparian sebagai koridor ekologis bagi spesies kupu-kupu. Salah satunya ialah jenis *Troides*. *Troides helena* merupakan spesies yang dilindungi termasuk Apendix II CITES dan status IUCN *Red List* tercatat dalam kategori *Least Concern* (LC), sehingga menunjukkan bahwa vegetasi riparian masih mampu menyediakan sumberdaya yang

diperlukan bagi spesies ini dan keberadaan inang yang masih tersedia di kawasan penelitian. Selain itu, kehadiran *T. helena* mengindikasikan bahwa masih tersedianya vegetasi alami karena spesies ini memerlukan vegetasi inang tertentu, seperti dari genus *Aristolochiaceae*.

Nilai indeks keragaman (H'=3.05) menunjukkan tingkat keragaman yang tinggi. Nilai ini menunjukkan bahwa habitat riparian Sungai Paneki masih mampu mendukung keberadaan berbagai jenis kupu-kupu dengan komposisi komunitas yang relatif stabil. Sementara itu, nilai kemerataan (E=0.85) mengindikasikan distribusi individu yang relatif merata antar jenis. Hal ini mengindikasikan tidak adanya dominasi yang tinggi oleh salah satu atau dua spesies tertentu, sehingga ketersediaan sumberdaya dalam habitat penelitian relatif seimbang. Sedangkan untuk nilai indeks kekayaan jenis (Dmg=7.57) menunjukkan kompleksitas komunitas yang cukup tinggi untuk ukuran habitat riparian dengan jarak luas pengamatan yang terbatas. Nilai ini mampu mengartikan bahwa tingginya kekayaan jenis kupu-kupu mampu dimanfaatkan oleh kupu-kupu dengan sumberdaya yang berbeda.

Tabel 4. Komposisi jenis kupu-kupu

No.	Famili	Jenis	Jumlah individu
1	*Nymphalidae*	*Danaus genutia*	10
2	*Nymphalidae*	*Neptis ida celebensis**	6
3	*Nymphalidae*	*Euploea* sp.	1
4	*Nymphalidae*	*Euploea algea*	6
5	*Nymphalidae*	*Euploea hewitsonii**	5
6	*Nymphalidae*	*Hypolimnas bolina*	1
7	*Nymphalidae*	*Hypolimnas missipus*	1
8	*Nymphalidae*	*Junonia erigone*	1
9	*Nymphalidae*	*Junonia intermedia**	5
10	*Nymphalidae*	*Cyrestis paulinus**	2
11	*Nymphalidae*	*Rohana macar**	2
12	*Nymphalidae*	*Rohana* sp.	1
13	*Nymphalidae*	*Doleschallia polibete*	1
14	*Nymphalidae*	*Faunis menado**	1
15	*Nymphalidae*	*Moduza lymire**	1
16	*Nymphalidae*	*Rhinopalpa polynice*	1
17	*Nymphalidae*	*Vindula dejone* ssp.*	1
18	*Nymphalidae*	*Ypthima loryma**	1
19	*Papilionidae*	*Papilio peranthus*	1
20	*Papilionidae*	*Troides helena***	2
21	*Papilionidae*	*Graphium deucalion**	1
22	*Papilionidae*	*Graphium meyeri**	1
23	*Papilionidae*	*Graphium rhesus**	1
24	*Pieridae*	*Catopsilia scylla*	2
25	*Pieridae*	*Hebomoia glaucippe*	1
26	*Pieridae*	*Appias sp.*	1
27	*Pieridae*	*Leptosia nina*	1
28	*Pieridae*	*Eurema tominia tominia**	9
29	*Pieridae*	*Pareronia tritaea**	15
30	*Lycaenidae*	*Psychonotis piepersii**	2
31	*Lycaenidae*	*Jamides aratus*	1
32	*Lycaenidae*	*Nacaduba kurava*	1
33	*Lycaenidae*	*Prosotas nora*	1
34	*Lycaenidae*	*Prosotas pia*	1
35	*Hesperiidae*	*Tagiades trebellius*	1
Jumlah individu			89
Jumlah jenis			35
Nilai indeks keragaman (H')			3.05
Nilai indeks kekayaan (Dmg)			7.57
Nilai indeks kemerataan (E)			0.85

Keterangan: *=Endemik; **=Appendix II (CITES), LC (IUCN), Dilindungi (PP)

Pendugaan Kehilangan dan Perolehan Jenis Kupu-kupu

Perbandingan komposisi jenis menunjukkan beberapa jenis ditemukan pada kedua periode pengamatan, sedangkan sebagian jenis ditemukan pada tahun 2024 atau 2025 (Tabel 5). Perbedaan kehadiran jenis tersebut menjadi dasar perhitungan kehilangan jenis dan perolehan jenis sebagai indikator *turnover* komunitas kupu-kupu.

Tabel 5. Perbandingan kehadiran jenis kupu-kupu pada pengamatan tahun 2024 dan 2025

No	Famili	Jenis	2024	2025
1	*Nymphalidae*	*Danaus genutia*	✓	✓
2	*Nymphalidae*	*Neptis ida celebensis*	✓	✓
3	*Nymphalidae*	*Euploea sp.*	✓	✓
4	*Nymphalidae*	*Euploea algea*	✓	✓
5	*Nymphalidae*	*Euploea hewitsonii*	–	✓
6	*Nymphalidae*	*Euploea redtenbacheri*	✓	–
7	*Nymphalidae*	*Hypolimnas bolina*	✓	✓
8	*Nymphalidae*	*Hypolimnas anomala*	✓	–
9	*Nymphalidae*	*Hypolimnas missipus*	–	✓
10	*Nymphalidae*	*Junonia erigone*	✓	✓
11	*Nymphalidae*	*Junonia intermedia*	–	✓
12	*Nymphalidae*	*Cyrestis strigata*	✓	–
13	*Nymphalidae*	*Cyrestis paulinus*	–	✓
14	*Nymphalidae*	*Rohana macar*	–	✓
15	*Nymphalidae*	*Rohana sp.*	–	✓
16	*Nymphalidae*	*Doleschallia polibete*	–	✓
17	*Nymphalidae*	*Faunis menado*	–	✓
18	*Nymphalidae*	*Moduza lymire*	–	✓
19	*Nymphalidae*	*Rhinopalpa polynice*	–	✓
20	*Nymphalidae*	*Vindula dejone ssp.*	–	✓
21	*Nymphalidae*	*Ypthima loryma*	–	✓
22	*Nymphalidae*	*Ideopsis juventa*	✓	–
23	*Nymphalidae*	*Ideopsis vitrea*	✓	–
24	*Nymphalidae*	*Dophla evelina*	✓	–
25	*Nymphalidae*	*Parantica agloides*	✓	–
26	*Nymphalidae*	*Yoma sabina*	✓	–
27	*Nymphalidae*	*Charaxes affinis*	✓	–
28	*Nymphalidae*	*Tirumala choaspes*	✓	–
29	*Nymphalidae*	*Orsotriaena jopas*	✓	–
30	*Nymphalidae*	*Lohora dinon*	✓	–
31	*Papilionidae*	*Papilio peranthus*	✓	✓
32	*Papilionidae*	*Troides helena*	✓	✓
33	*Papilionidae*	*Graphium agamemnon*	✓	–
34	*Papilionidae*	*Graphium deucalion*	–	✓
35	*Papilionidae*	*Graphium meyeri*	–	✓
36	*Papilionidae*	*Graphium rhesus*	–	✓
37	*Papilionidae*	*Papilio polytes*	✓	–
38	*Pieridae*	*Catopsilia scylla*	✓	✓
39	*Pieridae*	*Hebomoia glaucippe*	✓	✓
40	*Pieridae*	*Appias sp.*	–	✓
41	*Pieridae*	*Appias aegis*	✓	–
42	*Pieridae*	*Appias olferna*	✓	–
43	*Pieridae*	*Leptosia nina*	–	✓
44	*Pieridae*	*Eurema tominia tominia*	–	✓
45	*Pieridae*	*Eurema blanda*	✓	–
46	*Pieridae*	*Pareronia tritaea*	✓	✓
47	*Pieridae*	*Belenois java*	✓	–
48	*Pieridae*	*Ixias paluensis*	✓	–
49	*Pieridae*	*Catopsilia pomona*	✓	–
50	*Lycaenidae*	*Psychonotis piepersii*	–	✓
51	*Lycaenidae*	*Jamides aratus*	–	✓
52	*Lycaenidae*	*Nacaduba kurava*	–	✓
53	*Lycaenidae*	*Prosotas nora*	–	✓
54	*Lycaenidae*	*Prosotas pia*	–	✓
55	*Hesperiidae*	*Tagiades trebellius*	–	✓

Keterangan : ✓ = ditemukan; - = tidak ditemukan

Penelitian ini menunjukkan persentase kehilangan jenis sebesar 36,84% dan perolehan jenis sebesar 45,61% (Tabel 6). Kondisi ini mengindikasikan bahwa habitat penelitian masih memiliki daya dukung yang baik bagi keberadaan kupu-kupu. Meskipun diduga secara umum tidak terjadi perubahan habitat yang signifikan dari segi luasan, perubahan komposisi komunitas tetap dapat terjadi akibat perubahan kondisi lingkungan yang bersifat temporal, terutama terkait ketersediaan sumber daya pakan dan kondisi musim.

Sebanyak 4 genus dari 18 genus yang hilang tergantikan oleh genus yang sama. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kemungkinan kesamaan relung ekologis di antara spesies-spesies tersebut, sehingga fungsi ekologisnya dalam komunitas relatif tetap terjaga meskipun terjadi pergantian spesies. Spesies pengganti diduga memanfaatkan sumber daya yang serupa, baik berupa tumbuhan inang larva, sumber nektar, maupun kondisi mikrohabitat tertentu. Sebaliknya, terdapat 14 genus yang hilang tanpa digantikan oleh genus yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian perubahan komunitas tidak hanya berupa pergantian spesies sederhana, tetapi juga mencerminkan adanya respons yang berbeda dari masing-masing genus terhadap kondisi lingkungan yang berubah.

Tabel 6. Daftar jenis kupu-kupu yang hilang dan diperoleh

No	Tahun 2025	
	Kehilangan	**Perolehan**
1	*Appias aegis* (Pi)	*Appias* sp. (Pi)
2	*Appias olferna* (Pi)	*Cyrestis Paulinus* (N)
3	*Belenois java* (Pi)	*Doleschallia polibete* (N)
4	*Catopsilia pomona* (Pi)	*Euploea* sp. (N)
5	*Charaxes affinis* (N)	*Euploea hewitsonii* (N)
6	*Cyrestis strigata* (N)	*Eurema tominia tominia* (Pi)
7	*Dophla evelina* (N)	*Faunis menado* (N)
8	*Euploea* sp. (N)	*Graphium deucalion* (P)
9	*Euploea redtenbacheri* (N)	*Graphium meyeri* (P)
10	*Eurema blanda* (Pi)	*Graphium rhesus* (P)
11	*Graphium Agamemnon* (P)	*Hypolimnas missipus* (N)
12	*Hypolimnas anomala* (N)	*Jamides aratus* (L)
13	*Ideopsis juventa* (N)	*Junonia intermedia* (N)
14	*Ideopsis vitrea* (N)	*Leptosia nina* (Pi)
15	*Ixias paluensis* (Pi)	*Moduza lymire* (N)
16	*Lohora dinon* (N)	*Nacaduba kurava* (L)
17	*Orsotriaena jopas* (N)	*Prosotas nora* (L)
18	*Papilio polytes* (P)	*Prosotas* sp. (L)
19	*Parantica agloides* (N)	*Psychonotis piepersii* (L)
20	*Tirumala choaspes* (N)	*Rhinopalpa polynice* (N)
21	*Yoma sabina* (N)	*Rohana macar* (N)
22	-	*Rohana* sp. (N)
23	-	*Tagiades trebellius* (H)
24	-	*Vindula dejone* ssp. (N)
25	-	*Ypthima loryma* (N)
	36,84%	**45,61%**

Keterangan: (N) = *Nymphalidae*; (P) = *Papilionidae*; (Pi) = *Pieridae*; (L) = *Lycaenidae*; (H) = *Hesperiidae*; * = Endemik

Nilai perolehan jenis yang lebih tinggi (45,61%) dibandingkan kehilangan jenis (36,84%) diduga berkaitan dengan perubahan kondisi habitat yang sementara menguntungkan bagi lebih banyak spesies kupu-kupu. Salah satu faktor yang kemungkinan berperan adalah meningkatnya jumlah tumbuhan berbunga pada periode penelitian terkini. Kelimpahan bunga dapat meningkatkan ketersediaan nektar sebagai sumber pakan kupu-kupu dewasa sehingga mendukung kehadiran lebih banyak spesies. Kondisi tersebut sejalan dengan penelitian Vázquez *et al*., (2024), yang menyebutkan

bahwa keanekaragaman kupu-kupu berkaitan erat dengan kelimpahan bunga dan dinamika vegetasi musiman.

Selain itu, waktu penelitian yang bertepatan dengan musim hujan juga diduga turut memengaruhi tingginya perolehan jenis. Pada musim hujan, diduga pertumbuhan vegetasi umumnya meningkat sehingga ketersediaan tumbuhan inang larva maupun sumber pakan bagi imago menjadi lebih melimpah. Kondisi ini memungkinkan lebih banyak spesies kupu-kupu untuk hadir dan aktif di habitat penelitian. Castro (2015), menyatakan bahwa peningkatan kekayaan spesies Lepidoptera pada musim hujan berkaitan dengan tingginya ketersediaan daun dan buah matang sebagai sumber daya penting bagi kupu-kupu.

Walupun demikin, dengan tingginya perolehan jenis tidak selalu mencerminkan peningkatan kualitas habitat. Bisa saja jika perubahan yang terjadi menandakan bahwa komposisi jenis kupu-kupu berada dalam kondisi dinamis dan berpotensi mengalami perubahan lebih lanjut apabila terjadi gangguan terhadap habitatnya. Oleh karena itu, menjaga struktur vegetasi riparian, ketersediaan tumbuhan inang (*hostplant*), serta keberadaan area lembab untuk *mud-puddling* menjadi faktor penting dalam menjaga stabilitas komunitas kupu-kupu di riparian Sungai Paneki.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Analisis Baselga

Komponen	Nilai	Kontribusi
βSIM (*Turnover*)	0.613	96.31%
βNES (*Nestedness-resultant*)	0.024	3.69%
βSOR (Total)	0.636	100%

Analisis *gain-loss* menunjukkan bahwa komunitas kupu-kupu mengalami penambahan 25 spesies dan kehilangan 21 spesies antara tahun 2024 dan 2025. Meskipun terdapat sejumlah spesies yang tidak lagi terdeteksi pada tahun 2025, jumlah spesies yang muncul pada tahun tersebut juga tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa perubahan komunitas tidak didominasi oleh kehilangan spesies semata, tetapi oleh pergantian komposisi spesies. Hasil tersebut sejalan dengan analisis Baselga yang menunjukkan dominasi komponen *turnover* (βSIM = 0,6129) dibandingkan *nestedness-resultant* (βNES = 0,0235). Menurut Baselga (2010), *turnover* mencerminkan proses penggantian spesies (*species replacement*), *nestedness – resultant* mencerminkan kehilangan spesies yang menyebabkan suatu komunitas menjadi subset komunitas lain.

Fenomena *turn over* komunitas kupu-kupu pada penelitian ini memperlihatkan bahwa komunitas kupu-kupu bersifat responsif, khususnya terhadap perubahan waktu atau musiman. Perlu dicatat bahwa data pembanding berasal dari periode pengamatan yang berbeda musim. Oleh karena itu, sebagian perubahan komposisi jenis yang terdeteksi kemungkinan tidak hanya mencerminkan perubahan komunitas jangka panjang, tetapi juga dapat dipengaruhi oleh variasi musiman dalam aktivitas kupu-kupu, ketersediaan tumbuhan berbunga (pakan), maupun kondisi mikroklimat habitat. Sehingga perlu penelitian lebih lanjut terkait perubahan lingkungan, karena hal ini penting dilakukan untuk mengevaluasi kualitas habitat riparian. Berdasarkan Azahra (2021), bahwa kupu-kupu dapat digunakan sebagai bioindikator kesehatan lingkungan karena memiliki respon cepat terhadap perubahan.

Implikasi Konservasi

Hasil dari perhitungan yang menunjukkan tingginya keanekaragaman, kemerataan, dan kekayaan jenis kupu-kupu pada habitat riparian Sungai Paneki menginterpretasikan secara ekologi bahwa kawasan ini masih memiliki kualitas habitat yang baik dalam mendukung konservasi kupu-kupu, khususnya spesies endemik Wallacea. Adapun dengan aktivitas masyarakat setempat dan gangguan habitat (menjadi kebun), tidak mempengaruhi aktivitas kupu-kupu, walaupun demikian hal

ini perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Namun, masih terjaganya habitat yang juga merupakan kawasan yang dilindungi masih mampu menjaga dan mempertahankan habitat alaminya, khususnya bagi kupu-kupu (*Lepidoptera*).

Dengan demikian, perlindungan vegetasi riparian dan keberadaan tumbuhan inang dari famili *Aristolochiaceae* perlu diprioritaskan untuk mendukung keberadaan *Troides Helena*. Selain itu, meminimalkan gangguan terhadap area lembab (khusunya tepian sungai) yang menjadi lokasi aktivitas *mud puddling* kupu-kupu perlu diperhatikan. Upaya konservasi tersebut penting dilakukan untuk menjaga stabilitas komunitas kupu-kupu dan mempertahankan fungsi ekologis habitat riparian sebagai kawasan penyangga biodiversitas. Apabila struktur vegetasi riparian tetap terjaga, maka kawasan ini dapat mempertahankan konektivitas ekologis dan mendukung stabilitas komunitas kupu-kupu dalam jangka panjang (teoritis). Sebaliknya, degradasi habitat riparian dapat meningkatkan resiko hilangnya spesies lokal, terutama spesies endemik dan spesies yang bergantung pada vegetasi alami.

Penelitian ini membandingkan data dari dua periode pengamatan yang berbeda musim, yaitu Juli-Agustus 2024 dan Oktober-November 2025. Meskipun metode dan lokasi pengamatan sama, perbedaan musim berpotensi memengaruhi komposisi jenis yang terdeteksi. Selain itu, penelitian ini belum mengukur faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, intensitas cahaya, dan struktur vegetasi sehingga faktor penyebab *turnover* komunitas masih bersifat dugaan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan dan pemantauan jangka panjang untuk mengevaluasi hubungan antara perubahan lingkungan dan variasi musiman terhadap dinamika komunitas kupu-kupu pada habitat riparian.

SIMPULAN

Habitat riparian Sungai Paneki mendukung keberadaan 35 jenis kupu-kupu yang tergolong ke dalam 5 famili yaitu Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae, Lycaenidae, dan Hesperiidae. Nilai indeks keanekaragaman (H'=3.05), indeks kemerataan (E=0.85), dan indeks kekayaan jenis (Dmg=7.57) menunjukkan bahwa habitat riparian Sungai Paneki masih mampu mendukung komunitas kupu-kupu yang beragam dan relatif stabil. Sementara itu, nilai kehilangan jenis sebesar 36.84% dan perolehan jenis sebesar 45.61% menunjukkan tingginya *turnover* komunitas kupu-kupu, yang mengindikasikan adanya pergantian komposisi jenis antara periode pengamatan sebelumnya (tahun 2024) dan tahun 2025. Hal ini diperkuat oleh hasil analisis Baselga yang menunjukkan nilai βSOR sebesar 0.636, dengan *turnover* (βSIM = 0.613) lebih tinggi dibandingkan *nestedness-resultant* (βNES = 0.024), sehingga perubahan komunitas lebih didominasi oleh pergantian jenis dibandingkan proses kehilangan atau penambahan jenis.

DAFTAR PUSTAKA

Azahra, S. D. (2021). Potensi Jenis Kupu-kupu sebagai Bioindikator Kondisi Lingkungan Kawasan Perkotaan. *Seminar Nasional Biologi, 6*, 102–110.

An, J.-S., & Choi, S.-W. (2021). Butterflies as an Indicator Group of Riparian Ecosystem Assessment. *Journal of Asia-Pacific Entomology, 24*(1), 195–200.

Ankola, K., Aishwarya, D., Anusha, R., Vaishnavi, N., Supriya, V. K., & Puttaraju, H. P. (2021). Ecological Significance of Puddling as a Behavioural Phenomenon in the Life History of *Papilio polytes* Linn. (Lepidoptera: Papilionidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology, 24*(1), 1–6.

Baselga, A. (2010). Partitioning the Turnover and Nestedness Components of Beta Diversity. *Global Ecology and Biogeography*, *19*(1), 134-143.

Cabette, H. S. R., Souza, J. R., Shimano, Y., & Juen, L. (2017). Effects of Changes in the Riparian Forest on the Butterfly Community (Insecta: Lepidoptera) in

Cerrado Areas. *Entomologia Generalis, 36*(1), 43–50.

Cassie, B. (2010). *A world of butterflies*. Amerika: Bulfinch Publishing.

Castro, A., & Espinosa, C. I. (2015). Seasonal Diversity of Butterflies and its Relationship with Woody-Plant Resources Availability in an Ecuadorian Tropical Dry Forest. *Tropical Conservation Science, 8*(2), 333–351.

Chang, Y. M., Hatch, K. A., Ho, M. Y., Roxburgh, S. H., Wu, Y. T., Wang, Y. K., Wang, S. R., & You, Z. X. (2020). Roosting Site Usage, Gregarious Roosting and Behavioral Interactions During Roost-Assembly of Two Lycaenidae Butterflies. *Zoological Studies, 59*(10), 1-15.

Halder, I, V., Barnagaud, J.-Y., Jactel, H., & Barbaro, L. (2015). Woodland Habitat Quality Prevails Over Fragmentation for Shaping Butterfly Diversity in Deciduous Forest Remnants. *Forest Ecology and Management, 357*, 171–180.

Han, D., Wang, C., Sun, Z., She, J., Yin, L., Bian, Q., & Han, W. (2022). Microhabitat Preferences of Butterflies in Urban Parks: Both Vegetation Structure and Resources are Decisive. *Urban Forestry & Urban Greening, 71*, 127552.

Handiargo, F., Budiman, B., & Hariani, N. (2025). Diversitas dan Struktur Komunitas Kupu-kupu (Lepidoptera; Rhopalocera) di Hutan Riparian Sungai Wain Balikpapan: Diversity and Community Structure of Butterflies (Lepidoptera; Rhopalocera) in the Riparian Forest of Sungai Wain Balikpapan. Jurnal Hutan Tropika, 20(2), 454-460.

Ki, T. L. T., Beale, C. M., Huertas, B., & Hill, J. K. (2025). Little Long-Term Change in Regional Species Richness of Tropical Butterflies Over the past 166 Years Masks Turnover in Community Composition. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 292*(2057), 20251772.

Kirton, L. G. (2014). *Butterflies of Peninsular Malaysia, Singapore and Thailand*. John Beaufoy Publishing.

Lamie, E., Morton, E. R., & Parzer, H. F. (2025). Puddling in Butterflies: Current Knowledge and New Directions. *Annals of the Entomological Society of America, 118*(2), 110–118.

Lestari, D. A., Santosa, Y., & Kwatrina, R. T. (2023). Komunitas Kupu-kupu pada Perkebunan Kelapa Sawit Pasca Terjadi Kebakaran. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam, 20*(1), 11–28.

Lin, Y.-T., Yuepan, J., Wang, Y.-F., Yun-Wu, L., Xie, B.-B., Tang, H.-L., Wang, W.-L., & Hu, D. S.-J. (2025). Butterfly Diversity Under Three Types of Land Use in the Valley Part of Dulongjiang, Yunnan, China. *Diversity, 17*(11), 771.

Mahata, A., Panda, R. M., Dash, P., Naik, A., Naik, A. K., & Palita, S. K. (2023). Microclimate and Vegetation Structure Significantly Affect Butterfly Assemblages in a Tropical Dry Forest. *Climate, 11*(11), 220.

Nelson, S. M. (2007). Butterflies (Papilionoidea and Hesperioidea) as Potential Ecological Indicators of Riparian Quality in the Semi-Arid Western United States. *Ecological Indicators, 7*(2), 469–480.

Pratama, A. A. (2023). *Interaksi Air Tanah dan Air Permukaan pada Daerah Likuefaksi Jono Oge Dan Sekitarnya di Kabupaten Sigi, Sulawesi Tengah* [Tesis]. Universitas Gadjah Mada.

Ramadhana, F., Ihsan, M., Ningsih, S., Rukmi, & Sustri. (2025a). Keanekaragaman Jenis dan Asosiasi Jenis Kupu-kupu (Lepidoptera) di Riparian Sungai Paneki, Desa Pombewe, Kecamatan Sigi Biromaru. *Jurnal Penelitian Kehutanan BONITA, 7*(1), 52–65.

Ramadhana, F., Bahri, H., Ihsan, M., Ningsih, S., Rukmi, & Sustri. (2025b). Pola Sebaran Kupu-Kupu (Papilionoidea) di

Riparian Sungai Desa Bakubakulu, Kecamatan Palolo, Kabupaten Sigi, Sulawesi Tengah. *Forestsains: Jurnal Ilmuwan dan Praktisi Kehutanan, 23*(2), 162–168.

Rohman, F., & Efendi, M. A. (2019). *Bioekologi Kupu-kupu*. Universitas Negeri Malang.

Sielezniew, M., Sielezniew, I., Deoniziak, K., Bystrowski, C., & Nowicki, P. (2025). Intraspecific Variation in Sex-Biased Dispersal of a Threatened Ecotone Butterfly Between Forest Patches in a Mosaic Landscape. *Scientific Reports, 15*, 26110.

Vane, W, R. I., & De Jong, R. (2003). The Butterflies of Sulawesi: Annotated Checklist for a Critical Island Fauna. *Zoologische Verhandelingen*, 343, 3-267.

Vázquez, L. K., Lara, C., Corcuera, P., & Castillo-Guevara, C. (2024). Temporal Shifts in Flower-Visiting Butterfly Communities and their Floral Resources Along a Vegetation Type Altered by Anthropogenic Factors. *Forests, 15*(9), 1668.

Viljur, M.-L., & Teder, T. (2018). Disperse or Die: Colonisation of Transient Open Habitats in Production Forests is Only Weakly Dispersal-Limited in Butterflies. *Biological Conservation, 218*, 32–40.

Volume 8 Nomor 1 Juni 2026: 36-45

PERBANDINGAN KARAKTERISTIK MIKROKLIMAT BERDASARKAN SUHU UDARA PADA AREA BERVEGETASI DAN PERMUKIMAN DI KOTA PALOPO

Comparison of Microclimate Characteristics Based on Air Temperature in Vegetated Areas and Residential Areas in Palopo

Ari Affandy Mahyuddin[1], Rahmat Hidayat Dongka[2], Fajar Ramadhan[3]
[1]*Teknologi Rekayasa Metalurgi, Politeknik Dewantara, Palopo, Indonesia*
[2]*Teknik Elektro, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia*
[3]*Teknik Elektronika, Politeknik Dewantara, Palopo, Indonesia*
e-mail: ariaffandymahyuddin@gmail.com

ABSTRACT

The city of Palopo, a developing city on the eastern coast of South Sulawesi, is experiencing the intensive conversion of green spaces into residential in tandem with ongoing urbanization, a process that has direct implications for urban microclimate dynamics but has not yet been extensively studied through direct field measurements in this region. This study aims to analyze and compare microclimate characteristics based on air temperature parameters between vegetated areas and residential areas in Palopo City. Measurements were taken at ten sampling points, five in vegetated areas and five in residential areas, during three time periods (morning, noon, and afternoon) using a DHT11 digital temperature sensor. The data were analyzed using descriptive statistics, the Shapiro–Wilk normality test, and an independent samples t-test. The results showed that the average air temperature in vegetated areas was 29.46 °C, significantly lower than that in residential areas, which reached 30.40 °C, with an average difference of 0.94 °C ($t = 6.78$; $p < 0.001$; $df = 8$). The largest temperature difference was recorded during the day (1.38 °C), reflecting the contrast in heat absorption and release patterns between the vegetation canopy and the hard surface materials of residential areas. The daily temperature amplitude in vegetated areas (1.66 °C) is narrower than that in residential areas (2.68 °C), confirming the role of vegetation as a thermal buffer that stabilizes microclimate conditions. These findings provide an empirical basis for understanding the characteristics of tropical urban microclimates and for more measured planning of green open space distribution in the city of Palopo.

Keywords: *Air Temperature; Microclimate; Palopo; Residential; Vegetation*

ABSTRAK

Kota Palopo, sebagai kota berkembang di pesisir timur Sulawesi Selatan, mengalami konversi ruang hijau menjadi permukiman secara intensif seiring laju urbanisasi yang terus berlangsung, sebuah proses yang berimplikasi langsung terhadap dinamika mikroklimat perkotaan namun belum banyak dikaji melalui pengukuran lapangan secara langsung di wilayah ini. Penelitian ini bertujuan menganalisis dan membandingkan karakteristik mikroklimat berdasarkan parameter suhu udara antara area bervegetasi dan permukiman di Kota Palopo. Pengukuran dilakukan pada sepuluh titik sampling lima area bervegetasi dan lima permukiman selama tiga periode waktu (pagi, siang, sore) menggunakan sensor suhu digital DHT11, dengan data dianalisis melalui statistik deskriptif, uji normalitas Shapiro–Wilk, dan uji-t sampel independen. Hasil menunjukkan rata-rata suhu udara area bervegetasi sebesar 29,46 °C, secara signifikan lebih rendah dibandingkan permukiman yang mencapai 30,40 °C, dengan selisih rata-rata 0,94 °C ($t = 6,78$; $p < 0,001$; $df = 8$). Selisih suhu terbesar tercatat pada siang hari (1,38 °C), mencerminkan kontras pola absorbsi dan pelepasan panas antara kanopi vegetasi dan material permukaan keras permukiman. Amplitudo suhu harian area bervegetasi (1,66 °C) yang lebih

sempit dibandingkan permukiman (2,68 °C) menegaskan fungsi vegetasi sebagai penyangga termal yang menstabilkan kondisi mikroklimat. Temuan ini memberikan basis empiris bagi pemahaman karakteristik mikroklimat perkotaan tropis dan perencanaan distribusi ruang terbuka hijau yang lebih terukur di Kota Palopo.
Kata kunci: Suhu Udara; Mikroklimat; Permukiman; Palopo; Vegetasi

PENDAHULUAN

Urbanisasi merupakan salah satu kekuatan transformasi terbesar yang membentuk kondisi iklim lokal dan regional. Di seluruh dunia, pertumbuhan kota yang cepat telah mengubah lanskap alami seperti hutan, lahan pertanian, dan ruang terbuka hijau menjadi hamparan permukaan kedap air berupa bangunan, jalan aspal, dan infrastruktur perkotaan lainnya. Proses ini secara langsung memicu fenomena yang dikenal sebagai pulau panas perkotaan, yakni kondisi di mana suhu udara di wilayah perkotaan secara konsisten lebih tinggi dibandingkan kawasan pinggiran atau perdesaan di sekitarnya (Manoli *et al*., 2019).

Di kawasan tropis lembap seperti Indonesia, efek Urban *Heat Island* berpotensi lebih intens mengingat paparan radiasi matahari yang berlangsung sepanjang tahun dan kelembapan atmosfer yang tinggi. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan di kota-kota Indonesia termasuk konversi ruang hijau menjadi kawasan terbangun menjadi faktor determinan kenaikan suhu udara permukaan yang berimplikasi langsung pada kenyamanan termal warga dan konsumsi energi (Ufaira *et al*., 2023; Putra *et al*., 2021; Xue *et al*., 2024).

Kota Palopo, sebagai kota terbesar kedua di Provinsi Sulawesi Selatan dengan luas wilayah 247,52 km² dan populasi sekitar 177.526 jiwa (BPS Kota Palopo, 2023), tengah mengalami pertumbuhan perkotaan yang cukup pesat. Penelitian oleh Nashiha & Supardan (2016), menunjukkan bahwa kawasan pesisir Kota Palopo mengalami perubahan tutupan lahan seluas 348,97 hektar (11,69%). Laju perubahan menunjukkan bahwa permukiman mengalami pertumbuhan rata-rata sebesar 114,16 hektare per tahun, sedangkan vegetasi dan lahan produktif lainnya mengalami penurunan (Rosdiana *et al*., 2024).

Vegetasi dikenal memiliki peran krusial dalam regulasi suhu mikroklimat melalui beberapa mekanisme biofisika utama: (1) evapotranspirasi yang mengkonversi energi panas menjadi laten sehingga mendinginkan lingkungan sekitar; (2) penaungan (shading) oleh kanopi pohon yang mengurangi radiasi matahari langsung ke permukaan; dan (3) peningkatan albedo permukaan yang memperkecil absorbsi panas (Li *et al*., 2024; Qi *et al*., 2022; Pace *et al*., 2021). Menurut kajian ekstensif Qiu *et al*., (2013), efek pendinginan vegetasi melalui evapotranspirasi dapat menurunkan suhu udara antara 0,5 hingga 4,0 °C di kawasan perkotaan, bergantung pada kondisi iklim dan kepadatan kanopi.

Perbandingan karakteristik suhu udara antara area bervegetasi dan permukiman menjadi penting tidak hanya dari sudut pandang ilmu mikroklimatologi, tetapi juga bagi perencanaan kota yang berkelanjutan. Data empiris semacam ini dapat menjadi dasar *evidence-based* bagi pengambil kebijakan dalam menentukan luasan dan distribusi ruang terbuka hijau (RTH) yang optimal di Kota Palopo, seiring dengan mandat Undang-Undang Penataan Ruang yang mensyaratkan minimal 30% wilayah kota dialokasikan sebagai RTH.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan pendekatan penginderaan jauh untuk menganalisis suhu permukaan lahan di wilayah perkotaan, penelitian ini merupakan studi lapangan pertama di Kota Palopo yang secara langsung membandingkan karakteristik suhu udara mikroklimat antara area bervegetasi dan permukiman. Pengukuran dilakukan secara langsung di lapangan sehingga mampu

Volume 8 Nomor 1 Juni 2026: 36-45

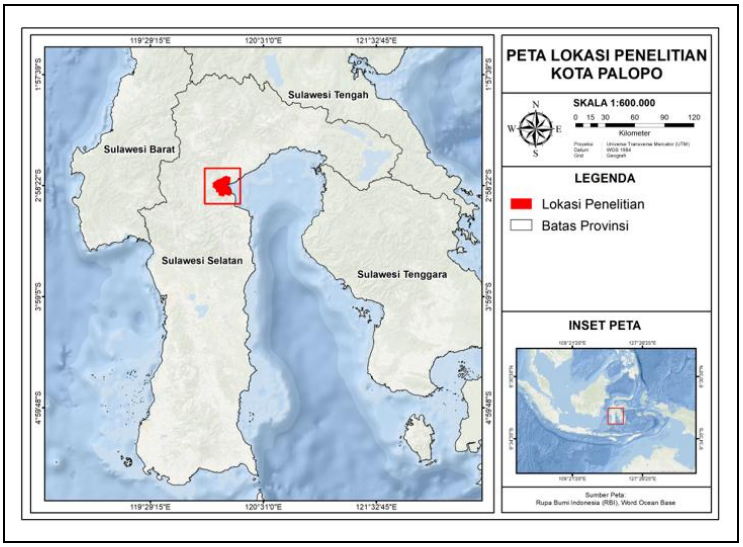
menggambarkan kondisi termal lingkungan yang lebih nyata dibandingkan data suhu permukaan hasil citra satelit. Hingga saat ini, kajian mengenai mikroklimat berbasis pengamatan lapangan di Kota Palopo masih sangat terbatas, padahal dinamika pertumbuhan kota dan perubahan tutupan lahan terus berlangsung dari tahun ke tahun.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dirancang untuk menganalisis perbandingan karakteristik mikroklimat berdasarkan suhu udara antara area bervegetasi dan area permukiman di Kota Palopo. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang klimatologi perkotaan serta menjadi dasar pertimbangan dalam perencanaan tata ruang kota yang lebih berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2026, yang secara klimatologis termasuk dalam periode peralihan musim di wilayah Kota Palopo. Pemilihan waktu penelitian ini mempertimbangkan kondisi cuaca yang relatif stabil serta representatif dalam menggambarkan karakteristik suhu udara harian, khususnya pada periode pagi, siang, dan sore hari. Secara geografis, Kota Palopo memiliki karakteristik penggunaan lahan yang beragam, mulai dari area bervegetasi hingga permukiman. Variasi tutupan lahan ini menjadi dasar dalam menentukan lokasi pengamatan guna membandingkan kondisi mikroklimat berdasarkan perbedaan karakteristik permukaan.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Metode Sampling

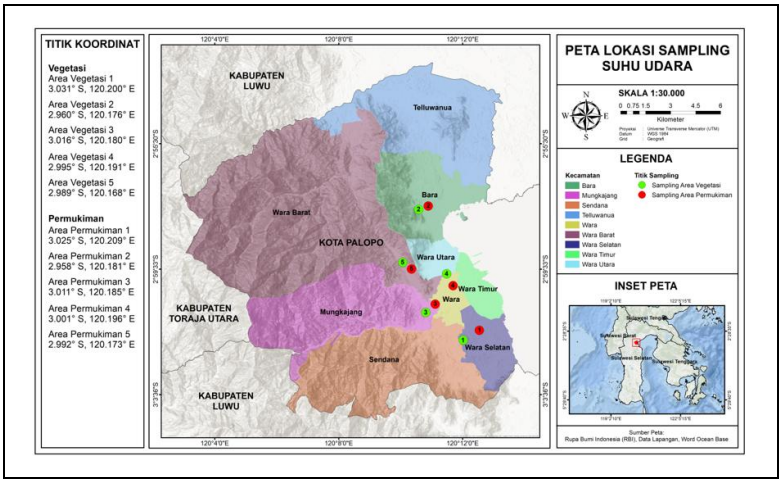
Karakteristik penggunaan lahan pada setiap titik sampling ditentukan melalui observasi visual lapangan terhadap dominasi tutupan vegetasi dan kepadatan bangunan di sekitar titik pengukuran. Klasifikasi ini bersifat lokal dan mencerminkan kondisi tutupan lahan pada skala mikro di sekitar sensor. Area bervegetasi memiliki dominasi vegetasi lebih dari 70% dengan kepadatan bangunan rendah, sedangkan permukiman memiliki kepadatan bangunan tinggi dengan tutupan vegetasi kurang dari 20%. Pendekatan ini digunakan untuk membedakan karakteristik termal permukaan pada masing-masing tipologi lahan

Titik lokasi pengukuran dapat dilihat pada Gambar 2. Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor suhu dan kelembapan DHT11 (*Digital Humidity and Temperature Sensor*). Sensor DHT11 secara ilmiah layak dan praktis dalam pengukuran suhu udara lingkungan (Marzuki *et al*., 2026).

Tabel 1. Spesifikasi teknis sensor DHT11

Parameter	Spesifikasi	Sumber
Akurasi	±2 °C	Saptadi (2015)
Rentang Suhu	0 - 50 °C	
Resolusi Suhu	1 °C	

Selain itu, sebelum melakukan pengambilan data, sensor DHT11 telah di lakukan kalibrasi linear berbasis data thermohygrometer standar. Setiap sesi pengukuran dilakukan pada tiga periode waktu yaitu pagi hari (06.00–07.00 WITA), siang hari (12.00–13.00 WITA), dan sore hari (16.00–17.00 WITA). Pengambilan data dilakukan selama lima hari pengamatan. Pada setiap hari pengukuran, sampling di lakukan pada satu lokasi bervegetasi dan satu lokasi permukiman sebagai lokasi pembanding. Dengan demikian, total lokasi pengamatan dalam penelitian ini terdiri atas lima lokasi bervegetasi dan lima lokasi permukiman.



Gambar 2. Peta lokasi sampling suhu udara

Analisis Data

Data suhu udara yang terkumpul dianalisis melalui beberapa tahap. Pertama, analisis statistik deskriptif dihitung untuk setiap lokasi dan tipologi lahan, meliputi nilai rata-rata, nilai maksimum, nilai minimum, dan standar deviasi. Kedua, uji normalitas data dilakukan menggunakan uji Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965) dimana (n = 5 per kelompok) untuk memverifikasi asumsi distribusi normal sebelum pengujian parametrik (Razali & Wah, 2011). Nilai yang digunakan dalam uji statistik merupakan rata-rata suhu dari masing-masing lokasi sampling sehingga setiap kelompok memiliki n = 5.

Ketiga, uji signifikansi perbedaan suhu antara area bervegetasi dan permukiman dilakukan menggunakan independent samples t-test ($\alpha = 0{,}05$) karena data berasal dari dua kelompok independen. Uji Levene digunakan untuk mengecek homogenitas varians (Zhou *et al*., 2023). Analisis dilakukan pada tiga skenario waktu pengukuran (pagi, siang, sore) dan juga terhadap nilai rata-rata harian gabungan. Seluruh analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS *Statistics* dan *Microsoft Excel*.

Hipotesis Penelitian

Berdasarkan teori mikroklimat perkotaan, keberadaan vegetasi berperan dalam menurunkan suhu udara melalui mekanisme evapotranspirasi, penaungan kanopi, dan pengurangan absorbsi panas permukaan. Sebaliknya, permukiman yang didominasi material terbangun seperti beton dan aspal cenderung memiliki kemampuan menyerap dan menyimpan panas lebih tinggi.

Volume 8 Nomor 1 Juni 2026: 36-45

Oleh karena itu, penelitian ini mengajukan hipotesis bahwa terdapat perbedaan suhu udara yang signifikan antara area bervegetasi dan permukiman di Kota Palopo.

Hipotesis statistik dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

H_0 : Tidak terdapat perbedaan suhu udara yang signifikan antara area bervegetasi dan permukiman di Kota Palopo.

H_1 : Terdapat perbedaan suhu udara yang signifikan antara area bervegetasi dan permukiman di Kota Palopo, di mana area bervegetasi memiliki suhu udara lebih rendah dibandingkan permukiman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Suhu Udara di Area Bervegetasi

Hasil pengukuran suhu udara pada lima titik sampling di area bervegetasi Kota Palopo disajikan pada Tabel 2. Secara keseluruhan, area bervegetasi menunjukkan profil suhu harian yang relatif stabil dengan rentang nilai yang lebih sempit dibandingkan permukiman.

Tabel 2. Data suhu udara di area bervegetasi Kota Palopo (°C)

Lokasi	Pagi (°C)	Siang (°C)	Sore (°C)	Rata-Rata (°C)	Maksimum (°C)	Minimum (°C)
Vegetasi 1	28,4	30,1	29,6	29,4	30,1	28,4
Vegetasi 2	28,6	30,3	29,8	29,6	30,3	28,6
Vegetasi 3	28,5	30,1	29,5	29,4	30,1	28,5
Vegetasi 4	28,7	30,4	29,9	29,7	30,4	28,7
Vegetasi 5	28,3	29,9	29,4	29,2	29,9	28,3
Rata-Rata Kelompok	**28,50**	**30,16**	**29,64**	**29,46**	**30,16**	**28,50**

Berdasarkan Tabel 2. rata-rata suhu udara keseluruhan di area bervegetasi tercatat sebesar 29,46 °C, dengan variasi temporal yang menunjukkan pola diurnal khas kawasan beriklim tropis lembap. Pada periode pagi, suhu udara berada pada kisaran 28,3–28,7 °C dengan rata-rata kelompok 28,50 °C, mencerminkan kondisi termal yang relatif rendah akibat minimnya akumulasi radiasi matahari pasca periode nokturnal. Memasuki siang hari, suhu meningkat secara signifikan ke kisaran 29,9–30,4 °C dengan rata-rata 30,16 °C, sejalan dengan puncak intensitas insolasi matahari.

Periode sore menunjukkan penurunan moderat menuju kisaran 29,4–29,9 °C dengan rata-rata 29,64 °C, mengindikasikan proses pelepasan panas yang mulai berlangsung seiring menurunnya sudut datang radiasi matahari.Pola peningkatan dan penurunan suhu ini menghasilkan amplitudo termal harian sebesar 1,66 °C, sebuah nilai yang relatif terbatas dan mengindikasikan efektivitas mekanisme penyangga termal (thermal buffering) yang diperankan oleh kanopi vegetasi. Konsistensi suhu antar-titik vegetasi (rentang hanya 0,5 °C) mengindikasikan homogenitas mikroklimat akibat efek kanopi kolektif, sejalan dengan temuan Riyanti *et al*., (2021), di Kota Jambi bahwa kerapatan kanopi RTH secara konsisten menekan intensitas radiasi matahari yang mencapai permukaan, sehingga menstabilkan suhu udara di bawah tajuk pada berbagai titik pengukuran.

Karakteristik Suhu Udara di Permukiman

Pengukuran di lima titik sampling permukiman Kota Palopo menghasilkan profil suhu yang secara konsisten lebih tinggi dibandingkan area bervegetasi, terutama pada siang hari. Data lengkap disajikan pada Tabel 3.

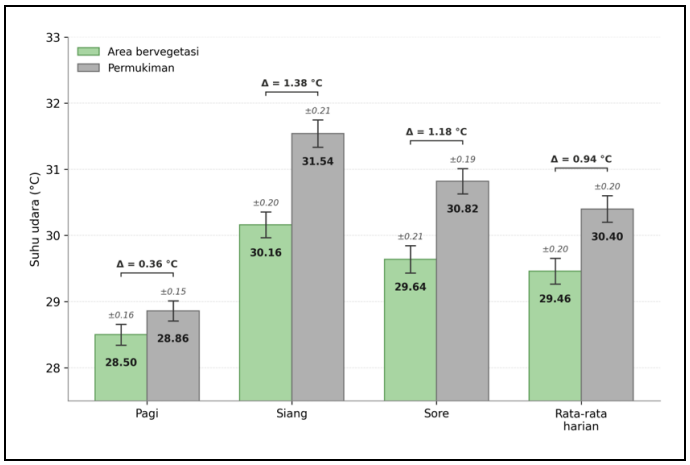
Tabel 3. Data suhu udara di permukiman Kota Palopo (°C)

Lokasi	Pagi (°C)	Siang (°C)	Sore (°C)	Rata-Rata (°C)	Maksimum (°C)	Minimum (°C)
Permukiman 1	28,8	31,5	30,7	30,3	31,5	28,8
Permukiman 2	28,9	31,7	30,9	30,5	31,7	28,9
Permukiman 3	28,7	31,3	30,6	30,2	31,3	28,7
Permukiman 4	29,1	31,8	31,1	30,7	31,8	29,1
Permukiman 5	28,8	31,4	30,8	30,3	31,4	28,8
Rata-Rata Kelompok	**28,86**	**31,54**	**30,82**	**30,40**	**31,54**	**28,86**

Permukiman mencatat rata-rata suhu udara keseluruhan 30,40 °C lebih tinggi 0,94 °C dibandingkan area bervegetasi. Yang lebih mencolok adalah peningkatan suhu siang hari yang signifikan, rata-rata siang permukiman mencapai 31,54 °C, dengan nilai tertinggi di Permukiman 4. Amplitudo suhu harian permukiman adalah 2,68 °C, jauh lebih besar dibanding area bervegetasi dengan nilai 1,66 °C, menunjukkan fluktuasi termal yang lebih ekstrem. Pola amplitudo yang lebar ini konsisten dengan mekanisme heat storage pada permukaan kedap air seperti aspal, beton, dan genteng yang mendominasi tipologi permukiman di lokasi penelitian ini. Secara teoretis, kapasitas panas (*heat capacity*) material kedap air yang lebih besar menyebabkan penyerapan energi matahari yang lebih besar pada siang hari dan pelepasannya secara tertunda, sehingga memperkecil laju pendinginan dan memperlebar rentang suhu diurnal dibandingkan permukaan bervegetasi (Jeon *et al*., 2026).

Analisis Perbandingan Suhu Antara Area Bervegetasi dan Permukiman

Gambar 3. dan Tabel 4. menyajikan perbandingan langsung suhu udara antara kedua tipologi lahan pada setiap periode pengukuran beserta selisih absolutnya.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Rata-Rata Suhu Udara Area Bervegetasi vs. Permukiman (°C)

Tabel 4. Perbandingan rata-rata suhu udara area bervegetasi vs. permukiman (°C)

Periode	Area Bervegetasi (°C)	Permukiman (°C)	Selisih (°C)
Pagi	28,50	28,86	0,36
Siang	30,16	31,54	**1,38**
Sore	29,64	30,82	1,18
Rata-Rata Harian	**29,46**	**30,40**	**0,94**

Gambar 3. dan Tabel 4. mengungkap pola yang sangat informatif, selisih suhu antara permukiman dan vegetasi bersifat dinamis sepanjang hari dan mencapai puncaknya pada siang hari (1,38 °C). Standar deviasi pada setiap kelompok pengukuran tergolong kecil (SD = 0,15–0,21 °C), mengindikasikan variabilitas spasial yang rendah antar-titik sampling dalam tipologi lahan yang sama dan memperkuat keterandalan nilai rata-rata sebagai representasi kondisi termal masing-masing tipologi lahan. Pada pagi hari, selisihnya relatif kecil (0,36 °C) karena kedua tipologi lahan belum terakumulasi panas matahari secara signifikan.

Seiring peningkatan intensitas radiasi matahari menjelang siang, permukaan permukiman yang didominasi material keras (beton, aspal, genteng) menyerap dan mengakumulasi panas jauh lebih efisien dibandingkan permukaan vegetasi. Proses evapotranspirasi dari vegetasi yang semakin aktif pada siang hari turut memperlebar selisih ini. Pola kontras suhu siang hari antara area bervegetasi dan permukiman juga konsisten dengan temuan pengukuran lapangan langsung di Kota Makassar, kota terdekat dengan karakteristik iklim tropis pesisir yang serupa dengan Palopo, di mana suhu udara siang hari di kawasan padat bangunan mencapai 32–35°C dibandingkan 29–31°C di area bervegetasi/lahan terbuka (Maru *et al*., 2015)."

Sore hari menunjukkan penurunan selisih yang moderat (dari 1,38 menjadi 1,18 °C) seiring berkurangnya intensitas radiasi matahari. Namun permukiman masih mempertahankan suhu yang lebih tinggi karena material bangunan melepaskan panas yang tersimpan (*heat release*) secara bertahap, fenomena ini yang dikenal sebagai thermal lag. Pola temporal ini konsisten dengan studi Meng *et al*., (2023), di kawasan metropolitan Zhengzhou, Tiongkok, yang melaporkan intensitas pulau panas permukaan tertinggi terjadi pada siang hari di musim panas, mencapai 2,43 °C yang mengindikasikan bahwa akumulasi panas siang hari akibat material terbangun merupakan pola umum di kawasan urban beriklim monsun.



Gambar 4. Area bervegetasi



Gambar 5. Area permukiman

Pola perbedaan suhu yang terukur secara statistik ini tidak terlepas dari kontras kondisi fisik yang nyata antara kedua tipologi lahan sebagaimana tampak pada Gambar 4. area bervegetasi dengan kepadatan kanopi tinggi, dan permukiman dengan dominasi material keras dan minimnya tutupan vegetasi sebagaimna terlihat pada Gambar 5.

Uji Statistik Signifikansi Perbedaan Suhu

Sebelum uji-t dilakukan, normalitas data diverifikasi menggunakan uji Shapiro-Wilk. Hasil uji menunjukkan bahwa data suhu pada kedua kelompok berdistribusi normal ($p > 0,05$ untuk semua subset data), sehingga penggunaan uji parametrik dapat dibenarkan. Uji Levene untuk homogenitas

varians juga tidak menunjukkan perbedaan varians yang signifikan antara kedua kelompok (p = 0,312), mengkonfirmasi asumsi equal variances terpenuhi.

Hasil independent samples t-test pada nilai rata-rata harian menghasilkan nilai t = 6,78 dengan derajat kebebasan df = 8 dan nilai p = 0,0001 (p < 0,001). Dengan demikian, hipotesis nol (H_0: tidak ada perbedaan signifikan suhu udara antara area bervegetasi dan permukiman) ditolak pada taraf signifikansi α = 0,05. Perbedaan suhu rata-rata sebesar 0,94 °C antara kedua tipologi lahan terbukti signifikan secara statistik. Tabel 5 merangkum hasil uji-t untuk ketiga periode pengukuran secara terpisah.

Tabel 5. Hasil independent samples T-test perbedaan suhu udara per periode

Periode	Mean Veg. (°C)	Mean Perm. (°C)	Selisih Mean (°C)	Nilai t	Nilai p
Pagi	28,50	28,86	0,36	3,13	0,014*
Siang	30,16	31,54	1,38	18,36	<0,001**
Sore	29,64	30,82	1,18	14,97	<0,001**
Rata-Rata	**29,46**	**30,40**	**0,94**	**6,78**	**<0,001****

Keterangan: * p < 0,05 (signifikan); ** p < 0,001 (sangat signifikan); df = 8

Hasil uji-t pada periode siang dan sore menunjukkan nilai p yang sangat kecil (< 0,001) dengan nilai t yang besar (18,36 dan 14,97), mengindikasikan perbedaan yang sangat nyata. Periode pagi juga menunjukkan perbedaan signifikan (p = 0,014), meski dengan magnitude yang lebih kecil. Konsistensi signifikansi statistik di seluruh periode waktu pengukuran memperkuat kesimpulan bahwa perbedaan suhu antara kedua tipologi lahan bukan merupakan artefak statistik, melainkan mencerminkan perbedaan nyata dalam karakteristik termal kedua tipe penggunaan lahan tersebut.

Karakteristik Mikroklimat Kota Palopo dalam Pengaruh Faktor Lokal

Interpretasi hasil pengukuran suhu udara di Kota Palopo tidak dapat dilepaskan dari konteks geografis dan ekologis lokal. Perbedaan suhu rata-rata sebesar 0,94 °C antara area bervegetasi dan permukiman, serta amplifikasi termal hingga 1,38 °C pada siang hari, merupakan ekspresi interaksi antara karakteristik tutupan lahan dengan kondisi fisik wilayah yang khas. Empat faktor lokal topografi tiga-zona, sirkulasi angin darat-laut dari Teluk Bone, gradien termal terhadap jarak pesisir, serta sebaran Ruang Terbuka Hijau yang tidak merata secara kolektif membentuk lanskap termal heterogen yang menentukan intensitas respons mikroklimat terhadap perubahan tutupan lahan.

Secara topografi, Kota Palopo terbagi atas dataran rendah pesisir di sisi timur (0–500 mdpl, mencakup 62,85% wilayah kota), perbukitan bergelombang di bagian tengah, dan pegunungan di bagian barat hingga 1.000 mdpl (Pemerintah Kota Palopo, 2024). Gradien barat–timur ini secara teoritis mendukung aliran angin katabatik malam hari dari lereng pegunungan menuju dataran rendah. Namun, suhu sore permukiman yang masih tinggi mengindikasikan bahwa efek pendinginan alamiah tersebut sebagian besar telah dilemahkan oleh peningkatan thermal mass material bangunan dan fenomena thermal lag.

Posisi Kota Palopo yang berbatasan langsung dengan Teluk Bone menempatkannya dalam zona pengaruh sirkulasi angin darat-laut, yang menurut Wang *et al*., (2022), merupakan sirkulasi mesoskala khas kota pesisir dan berkontribusi signifikan terhadap modulasi intensitas Urban Heat Island. Pola ini tercermin dari selisih suhu vegetasi dan permukiman yang masih relatif kecil pada pagi hari dibanding siang hari. Pada pagi hari, efek moderasi termal dari massa udara yang didinginkan angin darat semalaman masih dominan di

kedua tipologi lahan, sementara memasuki siang hari intensitas radiasi matahari melampaui kapasitas moderasi angin laut, sehingga perbedaan kapasitas absorbsi panas antara vegetasi dan permukaan keras permukiman menjadi faktor penentu utama.

Distribusi dan luasan RTH turut menentukan batas atas efek pendinginan yang dapat dicapai. Suhu area bervegetasi yang tetap tergolong tinggi secara absolut (29,46 °C) mencerminkan karakteristik vegetasi yang diukur bukan kawasan hijau luas dan kontinu, melainkan tutupan vegetasi terbatas yang tersebar di antara kawasan terbangun. Vegetasi dengan luasan terbatas memiliki kapasitas evapotranspirasi dan penaungan yang terbatas pula (Zhang *et al*., 2025), sehingga efek pendinginannya hanya bersifat lokal dan tidak cukup kuat untuk menurunkan suhu udara secara substansial.

SIMPULAN

Penelitian ini mengonfirmasi perbedaan suhu udara yang signifikan secara statistik antara area bervegetasi (29,46 °C) dan permukiman (30,40 °C) di Kota Palopo, dengan selisih rata-rata 0,94 °C ($t = 6,78$; $p < 0,001$; $df = 8$). Disparitas termal terlebar terjadi pada siang hari (1,38 °C), didorong oleh kontras kapasitas absorbsi panas antara kanopi vegetasi dan material terbangun. Amplitudo suhu harian yang lebih sempit pada area bervegetasi (1,66 °C berbanding 2,68 °C di permukiman) menegaskan fungsi vegetasi sebagai penyangga termal mikroklimat. Temuan empiris ini memperkuat urgensi perluasan dan distribusi proporsional ruang terbuka hijau sebagai instrumen mitigasi *Urban Heat Island* dalam perencanaan tata ruang Kota Palopo.

ACKNOWLEDGMENTS

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program Studi Teknik Elektronika Politeknik Dewantara atas dukungan dalam penyediaan alat pengukuran suhu udara yang digunakan selama pelaksanaan penelitian. Serta semua pihak yang turut terlibat dalam pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Palopo. (2023). *Kota Palopo dalam Angka 2023 (Katalog No. 1102001.7373)*. https://palopokota.bps.go. id/en/publi cation/2023/02/28/c2726a13066295de 5dbf8749 / kota- palopo-dalam-angka-2023.html

Jeon, M., Park, K., Moon, W., Kim, J.J., & Baik, J.J. (2026). Exploring Urban Heat Islands with a Simple Thermodynamic Model. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 33(1), 17–32.

Li, J., Zheng, X., Chen, Y., Li, X., & Zhang, Y. (2024). Cooling Dynamics of Urban Vegetation Via Evapotranspiration and Shading Under Extreme Heat. *Sustainable Cities and Society*, 112, 105634.

Manoli, G., Fatichi, S., Schläpfer, M., Yu, K., Crowther, T. W., Meili, N., Burlando, P., Katul, G. G., & Bou-Zeid, E. (2019). Magnitude of Urban Heat Islands Largely Explained by Climate And Population. *Nature, 573* (7772), 55–60.

Nashiha, M., & Supardan, N. (2016). *Identifikasi Perubahan Tutupan Lahan Melalui Citra Satelit Resolusi Tinggi: Studi Kasus Kawasan Pesisir Kota Palopo, Sulawesi Selatan*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan (PIT) XIII ISOI 2016 (pp 343-353). Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia.

Maru, R., Baharuddin, I. I., Umar, R., Rasyid, R., Uca, Sanusi, W., & Bayudin. (2015). Analysis of the Heat Island Phenomenon in Makassar, South Sulawesi, Indonesia. *American Journal of Applied Sciences*, 12(9), 616–626.

Marzuki, M. C., Ilmi, U., Laksono, A. B., Santoso, E. W., & Wakhid, A. R. (2026). Performance Evaluation of the DHT11 Sensor for MATLAB-Based Temperature and Humidity Measurements. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science, 6*(2), 737–749.

Meng, F., Yan, S., Tian, G., & Wang, Y. (2023). Surface Urban Heat Island Effect And its Spatiotemporal Dynamics in Metropolitan Area: a Case Study in the Zhengzhou Metropolitan Area, China. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1247046. https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1247046

Pace, R., Biber, P., Pretzsch, H., & Grote, R. (2021). Modeling Vegetation Effects on Urban Microclimate: a Case Study in Munich, Germany. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 692000.

Pemerintah Kota Palopo. (2024). *Geografis Kota Palopo*. Portal Resmi Pemerintah Kota Palopo. https://palopokota.go.id/halaman/geografis.

Putra, R., Harahap, F. A., & Munandar, A. (2021). Land Use Change and its Implication on Urban Thermal Environment in Medan City, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 716*, 012065.

Qiu, G. Y., Li, H. Y., Zhang, Q. T., Chen, W., Liang, X. J., & Li, X. Z. (2013). Effects of Evapotranspiration on Mitigation of Urban Temperature by Vegetation and Urban Agriculture. *Journal of Integrative Agriculture, 12*(8), 1307–1315.

Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics, 2*(1), 21–33.

Riyanti, A., Saragih, G. M., & Zahratu Qolbi, N. F. (2021). Analisis Pengaruh Kerapatan Vegetasi Ruang Terbuka Hijau (RTH) Terhadap Intensitas Cahaya Matahari dan Suhu Udara (Studi Kasus: Kota Jambi). *Jurnal Daur Lingkungan, 4*(1), 21–24.

Rosdiana, R., Damaianti, V. S., Mulyati, Y., & Sastromiharjo, A. (2024). Google Scholar sebagai Sumber Literasi Digital dalam Menulis Artikel Ilmiah di Perguruan Tinggi. *Semantik*, 13(2), 173–184.

Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika, 52*(3–4), 591–611.

Ufaira, R., Ramadhani, A., & Hasibuan, H. S. (2023). Living in a Hot City: Thermal Justice Through Green Open Space Provision. *Frontiers in Human Dynamics*, 5,1-17.

Wang, Q., Zhang, C., Wang, R., Luo, Z., & Hang, J. (2022). Contributions of Sea–Land Breeze and Local Climate Zones to Daytime and Nighttime Heat Island Intensity. *Npj Urban Sustainability, 2,*(1), 21.

Xue, P., Li, Y., & Chen, H. (2024). Insights Into Urban Heat Island and Heat Waves Synergies Revealed by a Land-Surface-Physics-Based Downscaling Method. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 129(13), e2023JD040531.

Zhang, M., Cheng, X., Jin, Y., & Liu, Z. (2025). *Global Urban Greening and its Implication for Urban Heat Mitigation*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 122(3), e2417179122. https://doi.org/10.1073/pnas.2417179122.

Zhou, Y., Zhu, Y., & Wong, W. K. (2023). Statistical Tests for Homogeneity of Variance for Clinical Trials fnd Recommendations. *Contemporary Clinical Trials Communications*, 33, 101119.

Volume 8 Nomor 1 Juni 2026: 46-58

ASSESSMENT OF BIOMASS, CARBON STOCK, AND CO_2 SEQUESTRATION IN THE ARBORETUM OF INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA

Kajian Biomassa, Stok Karbon, dan Serapan CO_2 di Arboretum Institut Teknologi Sumatera

Fakhri Muhammad Fikri[1], Nurika Arum Sari[1], Agung Yoga Pangestu[1], Diyanti Isnani Siregar[1], Oktarina Maulidia[1]

[1]*Department of Forestry Engineering, Institut Teknologi Sumatera*

Jl. Terusan Ryacudu, Jati Agung, Lampung Selatan, Lampung, Indonesia 35365

e-mail: nurika.sari@rh.itera.ac.id

ABSTRACT

Global warming driven by rising greenhouse gas emissions has heightened the need to utilize green spaces as carbon sinks, one of which is the arboretum. This study aimed to determine the potential biomass, carbon stock, and CO_2 uptake of the vegetation in the Arboretum of Institut Teknologi Sumatera (Itera). A combination of destructive and non-destructive methods was applied across 12 plots representing three levels of vegetation density: high, medium, and low. The analysis covered biomass, carbon stock, and estimated CO_2 uptake. The results showed an average biomass of 50.51 tons/ha, a carbon stock of 23.74 tons/ha, and CO_2 uptake of 85.82 tons/ha. The highest values were found in the high-density vegetation area, which had a denser tree population. This study provides baseline carbon stock data for a developing campus arboretum in Sumatra, and concludes that, although the carbon stock of the Itera Arboretum remains lower than that of other arboreta, it nonetheless holds potential as a carbon sink that contributes to climate change mitigation. Practically, these results imply that arboretum management must prioritize intensive enrichment planting in low-density zones and establish permanent monitoring plots to optimize long-term carbon sequestration.

Keywords: Arboretum; Biomass; Carbon Stock; Estimation; CO_2 Sequestration

INTRODUCTION

Global warming is one of the most critical environmental issues, triggered by rising concentrations of greenhouse gases—particularly carbon dioxide (CO_2) in the atmosphere. The accumulation of these gases traps heat from solar radiation, thereby driving a significant increase in the average temperature of the air, oceans, and land (Pratama, 2019; Andarini & Sudarti, 2023; Anggraeni et al., 2023). At the same time, deforestation and forest degradation continue to diminish nature's capacity to absorb carbon emissions. In fact, forest ecosystems play a vital role as carbon sinks through sequestration, namely the uptake and storage of carbon in plant biomass (Endriani & Sunarti, 2019).

As an effort to mitigate climate change, enhancing carbon uptake capacity through green open spaces such as arboreta represents an effective solution (Prajapati et al., 2023). An arboretum not only functions as an ex-situ conservation area for preserving biodiversity outside its natural habitat, but also serves as a natural carbon sink because it is planted with a variety of species resembling their original habitats (Napolion et al., 2015). In addition, such an area holds a strategic function as a venue for education and scientific research. Compared to other types of green open space, such as parks, green belts, or ornamental gardens that are typically dominated by a limited number of landscape species, arboreta are deliberately managed and planted to maintain high tree species richness and structural diversity. Such conditions have been shown to enhance aboveground carbon storage through complementary canopy

architecture and functional diversity among species (Mensah et al., 2016). In addition, because arboreta also serve as ex-situ conservation sites for a wide range of tree species, including those of conservation concern, they combine biodiversity protection with climate change mitigation within a single area, a combination rarely found in other types of urban green open space (Arnet et al., 2015). These distinctive characteristics underline the relevance of campus arboreta, rather than green open spaces in general, as a strategic focus for carbon stock and CO_2 sequestration assessment.

One conservation area with substantial potential is the Arboretum of Itera. Situated as part of the Itera Botanical Garden and covering approximately 2.34 hectares, the area is home to more than 1,000 trees comprising 45 species, such as kecapi, matoa, eucalyptus, cinnamon, and damar (Nabilla et al., 2021; Rudi, 2022). As a campus green open space, the Itera Arboretum plays a crucial role in maintaining microecosystem balance and supporting emission reduction. Nevertheless, quantitative data on the capacity of this area to store and absorb carbon emissions still require in-depth investigation.

Information regarding carbon stock and CO_2 sequestration capacity of campus arboreta in Indonesia remains limited. Previous studies on campus carbon stocks in Indonesia have predominantly focused on mature green open spaces or older campus forests with stable, high-density vegetation, such as those at Universitas Indonesia or Universitas Gadjah Mada. Previous studies on carbon stock and sequestration in campus green open spaces have generally addressed general vegetation cover rather than arboreta with their distinctive species composition and planting density. Consequently, there is a profound lack of empirical data regarding how expanding, newly established, and developing campus arboreta accumulate carbon across different spatial variations of initial planting densities. This gap underscores a critical limitation in current ecological modeling: the baseline carbon dynamics of young, transition-state urban conservation forests remain poorly understood compared to well-established old-growth campus forests. This gap underscores the need for a site-specific quantitative assessment of carbon stock and sequestration capacity in campus arboreta such as the Itera Arboretum.

Studying the Itera Arboretum provides a highly compelling and distinct scientific justification compared to other older arboreta in Indonesia. First, the Itera Arboretum represents a unique, fast-evolving conservation landscape in the southern gateway of Sumatra, a region heavily impacted by rapid land-use conversion. Second, unlike older established arboreta that possess uniform and mature canopy structures, the Itera Arboretum exhibits highly heterogeneous spatial structures due to its phased development. This provides a rare, real-time ecological laboratory to evaluate carbon storage variations across distinct localized density zones within a developing urban ecosystem.

Therefore, this study aimed to estimate the biomass potential, calculate the magnitude of carbon stock, and analyze the contribution of the Itera Arboretum to absorbing CO_2 emissions. This study was based on the premise that vegetation structure strongly influences carbon storage capacity as stand density and basal area have been shown to be positively correlated with biomass and carbon stock in tropical forest ecosystems (Wassihun et al., 2019). Based on these ecological mechanisms, this study hypothesized that: (1) there is a significant variation in biomass, carbon stock, and CO_2 uptake across high, medium, and low vegetation density zones within the developing arboretum; and (2) the high-density vegetation area, characterized by a denser tree population and overlapping canopy layers, will exhibit a exponentially higher capacity to store biomass and capture CO_2 than the medium and low-density zones.

Volume 8 Nomor 1 Juni 2026: 46-58

Data collection in this study was limited to two principal approaches, namely the non-destructive method for tree stands through measurement of diameter at breast height, and the destructive method for understory plants and litter in order to obtain the dry weight of biomass. The findings of this study are expected to enrich the scientific literature in the field of climate change mitigation while serving as a practical basis for managers in formulating sustainable conservation strategies for campus green open spaces.

RESEARCH METHODS

Time and Location of the Study

This study was conducted from May to July 2025 at the Arboretum of Institut Teknologi Sumatera (Itera). Primary data collection was carried out directly in the arboretum area, while the processing of destructive samples—comprising oven-drying and dry-mass weighing—was performed at the Forestry Engineering Laboratory of Itera.

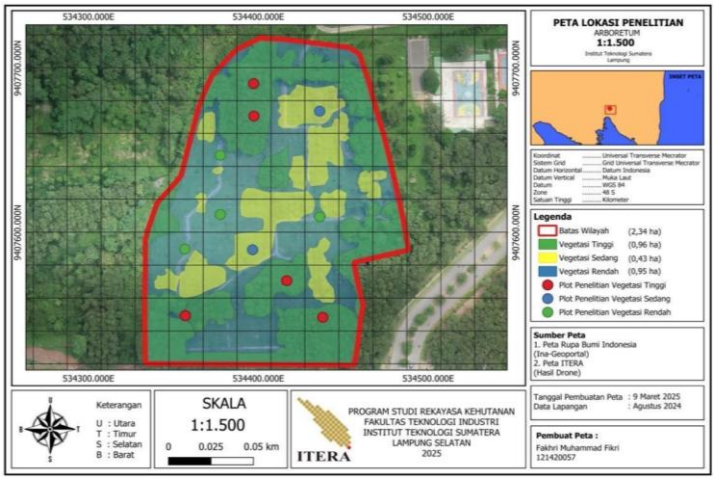


Figure 1. Distribution of research plot points

Research Tools and Materials

The research tools employed included instruments for measuring tree and environmental dimensions (haga meter, 100 m and 1.5 m measuring tapes, thermo-hygrometer), navigation equipment (GPS), laboratory analysis equipment (digital scales, oven), and supporting equipment (camera, machete, and stationery). The materials used comprised marker stakes, raffia string, tally sheets, plastic bags, brown envelopes, and label paper for documentation purposes as well as for handling biomass samples (litter and understory plants).

Research Stages

This study began with a literature review to determine the most relevant formulas and data-collection methods. Once the methodological framework had been established, instruments and supporting materials were prepared for field observation at the Itera Arboretum. Data collection focused on measuring biomass parameters comprising tree stands, understory plants, and litter. All data obtained were then processed using Microsoft Excel, in which tree biomass was estimated through allometric equations, whereas the biomass of understory plants and litter was determined from the dry weight after oven-drying. In the final stage, the accumulated biomass data were converted to estimate the total carbon stock as well as the CO_2 uptake capacity, in accordance with the Indonesian National Standard (SNI) 7724:2019.

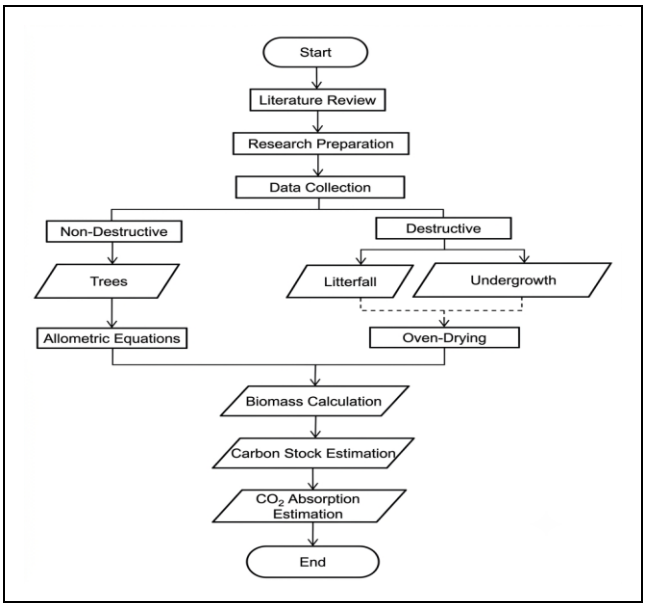


Figure 2. Research stages

Data Collection Method

The determination of research plots employed the purposive sampling method, namely a sampling technique conducted deliberately based on certain considerations, in which the selected samples are deemed most suitable for representing the population or answering the research question. The shape and size of the sampling plots were established as follows (BSN, 2019):

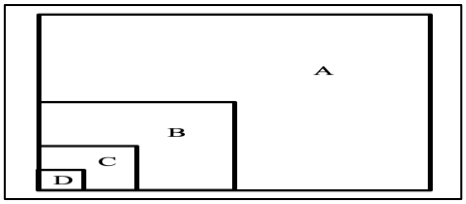


Figure 3. Research plots

a. Plot of 20 m × 20 m: tree data collection
b. Plot of 10 m × 10 m: pole data collection
c. Plot of 5 m × 5 m: sapling data collection
d. Plot of 2 m × 2 m: understory plant and litter data collection

The number of sample plots was determined by considering the area of the Itera Arboretum, which covers 2.34 ha. If the research subjects number fewer than 100 individuals, it is advisable to take all of them, making the study a population study; however, if the number of subjects is large, approximately 10 to 15% or more may be sampled (Bakti et al., 2018). Considering the total area of the Itera Arboretum (2,34 ha), the sampling intensity used was 20%. Based on the basic formula for sampling intensity from the forest inventory textbook of the Ministry of Education and Culture (2013), the number of plots was calculated as follows:

Number of plots created: n = (A x f)/a

= (2.34 x 20%) / 0.04 = 12 plots

Notes: n = Number of research plots; A = Research area (ha); f = Sampling intensity (%); a = Area of research plot (ha)

The vegetation density classification was determined using a stratified approach based on direct field observation, drone-based aerial photographs, and quantitative stand-density calculation. Each density class was not determined solely by visual interpretation, but was supported by the

number of woody individuals recorded in the sample plots and converted into individual density per hectare. The high-density vegetation class was characterized by a high number of woody individuals, denser canopy cover, and the dominance of tree-stage vegetation. In this class, 68 individuals were recorded from five 20 m × 20 m plots, corresponding to a density of 340 individuals/ha, with a mean DBH of 22.91 cm. The medium-density vegetation class was characterized by a more open canopy and the dominance of poles and saplings, with 9 individuals recorded from two 20 m × 20 m plots, corresponding to 112.5 individuals/ha and a mean DBH of 7.30 cm.

Meanwhile, the low-density vegetation class was characterized by sparse woody vegetation, wider open areas, and the dominance of understory plants, with 13 individuals recorded from five 20 m × 20 m plots, corresponding to 65 individuals/ha and a mean DBH of 7.39 cm. Therefore, the three vegetation density classes were quantitatively distinguished as follows: high-density vegetation ≥300 individuals/ha, medium-density vegetation 100–299 individuals/ha, and low-density vegetation <100 individuals/ha. Based on the classification results, the area of each vegetation stratum was 0.96 ha for high-density vegetation, 0.43 ha for medium-density vegetation, and 0.95 ha for low-density vegetation. The plot allocation was then determined proportionally, resulting in five plots in the high-density vegetation stratum, two plots in the medium-density vegetation stratum, and five plots in the low-density vegetation stratum.

Microclimate Conditions and Rainfall

Temperature and relative humidity were measured three times a day (morning at 07:00 WIB, midday at 12:00 WIB, and afternoon at 17:00 WIB) using a thermo-hygrometer placed across the three variations of vegetation density in the research plots (high, medium, and low), since this instrument fundamentally functions to measure temperature and humidity (Rohman et al., 2021). Meanwhile, rainfall data were obtained through a research-facility collaboration with the Itera Meteorology, Climatology, and Geophysics Station (Itera - BMKG), which were subsequently processed using Microsoft Office Excel to be presented in tabular form.

Sampling of Tree, Understory Plant, and Litter Biomass

The estimation of biomass and carbon stock can be carried out through destructive and non-destructive methods. The destructive method (destructive sampling) is difficult to apply on a large scale because it is resource-intensive and may damage forest stands; therefore, estimation is generally conducted indirectly using a statistical allometric-model approach based on tree diameter and height parameters (Zaenal et al., 2020). Conversely, the non-destructive method is conducted without damaging the trees, through measurement of the diameter at breast height (Diameter at Breast Height/DBH) at a height of 1.3 meters as well as tree height, which are then calculated using allometric equations (Saputra et al., 2018). Accordingly, this study applied the non-destructive method for the sake of efficiency and vegetation conservation, with a tree plot size of 20 m × 20 m in accordance with the SNI 7724:2019 standard.

For the understory plant and litter components, samples were taken using plots measuring 2 m × 2 m based on the SNI 7724:2019 standard. The measurement applied the destructive method (destructive sampling) by cutting all understory plants above the ground surface and collecting all litter within the plot to weigh their wet weight. Dry-weight measurement was carried out by taking a subsample of approximately ±300 g, which was then dried in a laboratory electric oven at 80°C for 48 hours until a constant weight was reached (Ariani et al., 2014).

Data Analysis

The biomass of trees, poles, and saplings can be estimated using allometric

equations. Allometric equations differ for each species; the selection of an allometric equation is determined by the tree species, ecosystem type, and the distribution range of that species. Sixteen tree species were found in the research plots within the Itera Arboretum. The following are the allometric equations used to calculate biomass in this study.

Table 1. Allometric equations used in the study

No	Species Name	Allometric Equation	Source
1	Acacia	$BBA = 0{,}070 \times D^{2{,}58}$	(Krisnawati et al., 2012)
2	Cempaka	$BBA = 0{,}064 \times D^{2{,}71}$	(Appi' et al., 2019)
3	Damar (Agathis)	$BBA = 0{,}4725 \times D^{2{,}0112}$	(Uthbah et al., 2017)
4	Gmelina	$BBA = 0{,}06 \times (D^2 \times H)^{0{,}88}$	(Krisnawati et al., 2012)
5	Guava	$BBA = 0{,}11 \times \rho \times D^{2{,}62}$	(Dewi et al., 2019)
6	Mahogany	$BBA = 0{,}903 \times (D^2 \times H)^{0{,}684}$	(Krisnawati et al., 2012)
7	Sengon	$BBA = 0{,}020 \times (D^2 \times H)^{0{,}93}$	(Ristiara et al., 2017)
8	Other trees	$BBA = 0{,}0673 \times (\rho \times D^2 \times H)^{0{,}976}$	(Chave et al., 2014)

Notes: BBA = Stand biomass (kg); D = Diameter at breast height (cm); H = Total plant height (cm); ρ = Wood density (g/cm^3)

Calculation of Understory Plant and Litter Biomass

Based on SNI 7724:2019, the estimation of understory plant and litter biomass can be obtained by calculating the total dry weight as follows:

$$Botb = (Bks \times Bbt) / Bbs$$

Notes: Botb = Organic Matter Weight (kg); Bks = Dry Weight of Sample (kg); Bbt = Total Wet Weight (kg); Bbs = Wet Weight of Sample (kg)

Calculation of Carbon Stock of Trees, Poles, and Saplings

Based on SNI 7724:2019, the calculation of carbon from vegetation biomass uses the following formula:

$$Cv = Bov \times \%\ C\ organic$$

Notes: Cv = Carbon content of vegetation biomass (kg); Bov = Total vegetation biomass (kg); % C organic = Percentage value of carbon content, equal to 0.47 or using the carbon percentage value obtained from laboratory analysis.

Calculation of Carbon Stock of Understory Plants and Litter

Based on SNI 7724:2019, the calculation of carbon from understory plants and litter can be computed using the following formula.

$$Ctb = Botb \times \%\ C\ organic$$

Notes: Ctb = Carbon content of understory-plant organic matter (kg); Botb = Total understory-plant biomass/organic matter (kg); % C organic = Percentage value of carbon content, equal to 0.47 or using the carbon percentage value obtained from laboratory analysis.

Calculation of CO_2 Uptake

The estimated CO_2 uptake value can be obtained by multiplying the carbon content by the conversion factor from the element C to CO_2. The CO_2 uptake value can be determined based on the following equation (Panjaitan et al., 2024).

$$WCO_2 = Cn \times 3.67$$

Notes: Cn = Carbon content; WCO_2 = CO_2 uptake capacity; 3.67=Equivalent or conversion factor from the element C to CO_2 (atomic mass C = 12, O = 16, CO_2 = (1×12) + (2×16) = 44; the conversion is (44:12) = 3.67).

RESULTS AND DISCUSSION

Biomass Potential, Carbon Stock, and CO_2 Uptake of Trees

Biomass, carbon stock, and CO_2 uptake of trees were calculated using allometric equations based on diameter (DBH) and tree height values. The results are presented in Table 2.

Table 2. Biomass, carbon stock, and CO_2 uptake of trees

Vegetation Density	Area (ha)	Mean DBH (cm)	Number of Trees	Biomass (tons/ha)	Carbon Stock (tons/ha)	CO_2 Uptake (tons/ha)
High Density	0.96	22.91	68	98.72	46.40	170.29
Medium Density	0.43	7.30	9	13.53	6.36	23.34
Low Density	0.95	7.39	13	8.78	4.13	15.15
Average				**46.55**	**21.88**	**80.30**

Based on Table 2. the average tree biomass across the three vegetation density levels was 46.55 tons/ha, carbon stock was 21.88 tons/ha, and CO_2 uptake was 80.30 tons/ha. The highest values were recorded in the high-density vegetation plot, with biomass of 98.72 tons/ha, carbon stock of 46.40 tons/ha, and CO_2 uptake of 170.29 tons/ha. These high values were influenced by the greater number of trees compared to the medium and low density plots, as well as the dominance of Acacia mangium (22 individuals), which grows optimally under the climatic conditions of the ITERA Arboretum (mean temperature 28.1°C, relative humidity 80.1%, annual rainfall 2,294.4 mm/year). The denser the vegetation in an area, the greater the biomass accumulation due to an increasing number of individuals and total recorded diameter and tree height (Witno et al., 2018).

The lowest values were found in the low-density vegetation plot, with biomass of 8.78 tons/ha, carbon stock of 4.13 tons/ha, and CO_2 uptake of 15.15 tons/ha, dominated by soursop (Annona muricata) with 4 individuals. Differences in values across density levels are generally influenced by the number and species of trees, DBH values, and local ecological conditions (Siswanto et al., 2024). DBH directly affects the amount of biomass produced, as a larger DBH corresponds to greater tree biomass.

Potential Biomass, Carbon Stock, and CO_2 Uptake of the Itera Arboretum

The measurement results showed that the values of biomass, carbon stock, and CO_2 uptake in the Arboretum of Itera differed significantly across vegetation density levels. These differences were primarily determined by the number of individual trees, the diameter at breast height, stand height, and the dominance of constituent species in each density class. In areas with high vegetation, the stand structure was denser and the number of trees greater, so that biomass accumulation reached its highest value. Conversely, in low vegetation, tree stands were still sparse and there were many open spaces dominated by understory plants, so that the biomass and carbon stock values were smaller.

Table 3. Potential biomass, carbon stock, and CO_2 uptake in the Itera Arboretum

Density Level	Area (ha)	Biomass (tons/ha)	Carbon Stock (tons/ha)	CO_2 Uptake (tons/ha)
High Vegetation	0,96	103,18	48,50	175,61
Medium Vegetation	0,43	17,98	8,45	29,41
Low Vegetation	0,95	11,99	5,64	20,62
Arboretum Average	-	**50,51**	**23,74**	**85,82**

Based on Table 3. high vegetation had a biomass of 103.18 tons/ha, a carbon stock of 48.50 tons/ha, and CO_2 uptake of 175.61 tons/ha. These values were far higher than those of the medium and low vegetation. Medium vegetation had only 17.98 tons/ha of biomass, 8.45 tons/ha of carbon stock, and 29.41 tons/ha of CO_2 uptake, whereas low vegetation had 11.99 tons/ha of biomass, 5.64 tons/ha of carbon stock, and 20.62 tons/ha of CO_2 uptake. The overall average for the Itera Arboretum was 50.51 tons/ha of biomass, 23.74 tons/ha of carbon stock, and 85.82 tons/ha of CO_2 uptake. When multiplied by

the area of each density level, the total absolute accumulation in the Itera Arboretum reached 118.18 tons of biomass, 55.55 tons of carbon, and 200.82 tons of CO_2.

This pattern indicates that biomass and carbon in the Itera Arboretum are still strongly governed by stand structure. Tree biomass increases as tree diameter and height grow, because the stem, branches, and crown undergo an increase in wood volume. Consequently, plots with high density produced the largest carbon stock. This finding is consistent with Chave et al., (2014), who identified stem diameter, tree height, and wood specific gravity as the principal variables in estimating tropical tree biomass. In the context of the Itera Arboretum, the average diameter in the high vegetation was greater than in the medium and low vegetation, so that its carbon contribution was also greater.

Influence of Species Composition and Stand Density on Carbon Stock

The tree composition in the Itera Arboretum was dominated by acacia (*Acacia mangium*), with 22 individuals out of a total of 90 trees. The dominance of acacia influences biomass formation because this species is known as a fast-growing species capable of adapting to various site conditions. In young stands, fast-growing species can accelerate initial biomass formation, particularly on open land or in areas undergoing vegetation enrichment. However, the magnitude of acacia's contribution to carbon is determined not only by the number of individuals, but also by diameter size, tree height, and stand age. Thus, the dominance of acacia serves as an important indicator that the Itera Arboretum has the potential for increased carbon in the future, although its current carbon accumulation is not yet as high as that of arboreta dominated by large-diameter, old-aged trees.

This condition explains why high vegetation became the class with the most dominant biomass value. In that class, the number of trees was greater and the canopy cover denser. Tree density causes the vertical growing space to be more filled with woody biomass, whereas the medium and low vegetation classes still exhibited stand structures that had not developed optimally. The findings of Banjarnahor et al., (2018) at the Arboretum of the University of Lampung likewise showed that carbon storage is strongly influenced by tree dominance, with carbon in the tree component reaching 223.03 tons/ha, or 98.36% of the total carbon stored above ground. This comparison underscores that the tree component is the principal contributor of carbon in arboretum ecosystems, whereas understory plants and litter make a smaller contribution.

The Role of Microclimate and Rainfall in Biomass Productivity

The environmental conditions in the Itera Arboretum support the process of vegetation growth. The average temperature in high vegetation was 27.6°C with a relative humidity of 84.0%, in medium vegetation 28.1°C with a relative humidity of 78.8%, and in low vegetation 28.7°C with a relative humidity of 77.5%. This pattern shows that the denser the tree canopy, the lower the temperature beneath the stand and the higher the humidity. The tree canopy functions to block direct solar radiation, reduce heating of the soil surface, and maintain air humidity beneath the stand. Such microclimatic conditions are important for growth because plant photosynthesis, respiration, and transpiration are strongly influenced by the balance of temperature, light, and water availability.

High vegetation not only had a greater number of trees but also formed a more stable sub-canopy environment. Higher humidity can reduce the pressure of water loss through excessive transpiration, while a temperature that is not too high helps maintain the physiological activity of plants. This explains why the high vegetation class had greater biomass and CO_2 uptake. Even so, a high canopy density can limit light intensity on the forest floor, so that understory plant growth becomes lower than in medium vegetation. In this study, the highest understory plant

biomass was in fact found in the medium vegetation, namely 3.52 tons/ha, because the moderate canopy opening still provided sufficient light without causing conditions that were too hot and dry.

In terms of rainfall, the total rainfall in the Itera region from July 2024 to June 2025 reached 2,294.4 mm/year, with an average of 191.2 mm/month. This value falls within the moderate rainfall category according to the BMKG classification and lies within a range that supports tropical vegetation growth. Taylor et al., (2017), explained that temperature and rainfall interact in controlling the carbon cycle in tropical forests. Adequate rainfall maintains soil-water availability, so that photosynthesis and biomass formation can proceed more stably. Therefore, the rainfall conditions of the Itera Arboretum constitute a supporting ecological factor for increasing carbon stock, particularly if vegetation management is directed toward increasing density and maintaining the stands.

The Role of Understory Plants and Litter in the Arboretum Carbon Cycle

In addition to trees, understory plants and litter also contribute to carbon stock, although in smaller proportions. The average biomass of understory plants in the Itera Arboretum reached 3.20 tons/ha, with a carbon stock of 1.50 tons/ha and CO_2 uptake of 5.52 tons/ha. Understory plants still possess living tissue and chlorophyll, enabling them to carry out photosynthesis and absorb CO_2. This role is important in the medium and low vegetation areas because the presence of understory plants helps cover the soil surface, maintain humidity, and add organic-matter input.

Unlike understory plants, litter functions only as a temporary carbon store. The average litter biomass in the Itera Arboretum was 0.75 tons/ha, with a carbon stock of 0.35 tons/ha. Litter is not counted as a CO_2 uptake component because it is dead organic matter that no longer performs active photosynthesis. The carbon within litter is stored temporarily before undergoing decomposition. During decomposition, some carbon may return to the atmosphere in the form of CO_2, while another portion enters the soil as organic matter. Therefore, in this discussion litter is positioned as part of the carbon cycle and as a temporary carbon store, rather than as an active CO_2 sink.

These results can be compared with the study by Nofrianto et al., (2018), at the Arboretum of Universitas Lancang Kuning. That study showed that litter carbon reached 7.12 tons/ha, whereas understory plant carbon was only 0.28 tons/ha. The litter value at the Arboretum of Universitas Lancang Kuning was far higher than that of the Itera Arboretum, which was only 0.35 tons/ha. This difference indicates that litter production in an arboretum is strongly influenced by canopy density, stand age, number of trees, and the accumulation of organic matter on the forest floor. Arboreta with older stands and denser canopies produce more falling leaves and twigs, so that litter carbon increases. Conversely, the Itera Arboretum, which is still dominated by young stands and partly composed of low-vegetation areas, has a relatively small litter accumulation.

Comparison of the Itera Arboretum Carbon Stock with Other Locations

The carbon stock value of the Itera Arboretum, at 23.74 tons/ha, remains lower than that reported by several studies on other arboreta and green open spaces. This comparison is important for placing the research findings within a broader ecological context. The Arboretum of the University of Lampung was reported to have an above-ground carbon storage of 226.75 tons/ha, whereas the Bamboo Arboretum of IPB Darmaga Campus had a total carbon storage of 87.93 tons/ha and CO_2 uptake of 324.65 tons/ha. Maluku Park in Bandung City had a total carbon stock of approximately 183.052 tons and carbon uptake of 731.422 tons. These differences in value indicate that the uptake and storage capacity of carbon in green spaces depend strongly on site area, vegetation structure, species composition,

stand age, and the diameter of the constituent trees.

Table 4. Comparison of the Itera Arboretum carbon stock with several other study locations

Study location	Area type	Main carbon/CO_2 value	Source
Itera Arboretum	Campus arboretum	Carbon 23.74 tons/ha; CO_2 uptake 85.82 tons/ha	Study data
Arboretum of the University of Lampung	Arboretum kampus	Above-ground carbon 226.75 tons/ha	Banjarnahor et al., (2018)
Bamboo Arboretum of IPB Darmaga Campus	Arboretum kampus	Carbon 87.93 tons/ha; CO_2 uptake 324.65 tons/ha	Bagaskara et al. (2024)
Arboretum of Universitas Lancang Kuning	Arboretum kampus	Litter carbon 7.12 tons/ha; understory plant carbon 0.28 tons/ha	Nofrianto et al., (2018)
Maluku Park, Bandung City	Urban green open space	Total carbon stock 183.052 tons; carbon uptake 731.422 tons	Darlina et al., (2023)

The comparison in Table 4. shows that the position of the Itera Arboretum is still at a relatively early phase of carbon accumulation. The Arboretum of the University of Lampung had a far higher carbon value because the area possesses high tree density and species richness. Banjarnahor et al., (2018), reported that the carbon storage of the Arboretum of the University of Lampung increased from 141.97 tons/ha in 2010 to 226.75 tons/ha in 2016. This increase was attributed to a rise in the number of trees through planting and natural regeneration. This condition serves as an important benchmark for the Itera Arboretum, as it demonstrates that an increase in the number of trees and the development of stand structure over time can raise carbon stock significantly.

The comparison with the Bamboo Arboretum of IPB Darmaga Campus also provides a relevant illustration. Bagaskara et al. (2024) reported a total carbon storage of 87.93 tons/ha and CO_2 uptake of 324.65 tons/ha. These values were higher than those of the Itera Arboretum. One reason is the stand structure of the IPB Bamboo Arboretum, which encompasses several vegetation zones with larger-diameter trees, as well as contributions from above-ground biomass, below-ground biomass, and necromass. In this study, the Itera Arboretum accounted only for the above-ground carbon components comprising trees, understory plants, and litter, so that the total carbon value does not yet reflect all of the ecosystem's carbon pools.

The low carbon value of the Itera Arboretum can also be explained by stand-age conditions. Most of the vegetation in the Itera Arboretum is still young and has a relatively small stem diameter. In young stands, the growth rate can proceed rapidly, but the volume of woody biomass stored is not yet as large as in mature stands. Arboreta with old, large-diameter trees have a much greater accumulation of stem and branch biomass. This is consistent with the allometric principle that an increase in diameter raises biomass non-linearly. In other words, a small increase in diameter in larger trees can yield a greater addition of biomass and carbon than in small trees.

Although the carbon stock value of the Itera Arboretum is lower than that of the comparison locations, the area nonetheless holds a strategic function as a local campus carbon sink. The value of 23.74 tons/ha indicates that the existing vegetation has contributed to storing carbon and absorbing CO_2. Furthermore, the total CO_2 uptake of 200.82 tons across the area shows that the

arboretum makes a tangible ecological contribution to climate change mitigation at the campus scale. This potential can be enhanced through species enrichment, maintenance of young trees, planting in low-vegetation areas, and the arrangement of species compositions that exhibit good growth and high biomass values.

Accordingly, the findings of this study not only show the magnitude of the current biomass and carbon stock, but also provide a management basis for improving the quality of the Itera Arboretum. The low vegetation class, with an area of 0.95 ha, should become a priority for enrichment because its area is almost the same as that of the high vegetation, yet its carbon value is far smaller. If the low-vegetation area is managed through the planting of woody trees, an increase in canopy cover, and intensive maintenance, the difference in carbon stock among density classes can be reduced. In the long term, an increase in stand age and tree diameter will enlarge carbon storage, so that the Itera Arboretum can function more optimally as a living laboratory, a conservation space, and a carbon sink within the campus environment.

CONCLUSION

Itera Arboretum serves as a vital transition-state carbon sink, with its biomass allocation, carbon stock, and CO_2 sequestration capacity heavily dictated by localized planting density and canopy architecture. The primary finding reveals that high-density zones dominated by fast-growing, adaptive species like Acacia mangium optimize carbon capture efficiency under local microclimatic conditions. Although its current carbon storage remains lower than older, well-established campus arboreta due to the predominantly young age and small stem diameters of its stands, the area exhibits high ecological elasticity and significant growth potential.

Mechanistically, the practical implication for management shifts from basic conservation to targeted spatial optimization. To elevate the arboretum's carbon sink capacity, future development must prioritize aggressive enrichment planting using dense-canopy, fast-growing local species specifically within the identified low- and medium-density zones. Furthermore, establishing these research plots as permanent monitoring stations will allow campus managers to track real-time carbon dynamics, integrating empirical ecological data directly into the university's green campus policy and climate mitigation strategies.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank Institut Teknologi Sumatera for the support and facilities provided throughout this research. Special thanks are also extended to all parties who, directly or indirectly, assisted in the completion of this research and manuscript.

REFERENCES

Andarini, N. F., & Sudarti, S. (2023). Analisis Pengaruh Peningkatan Konsentrasi Gas Rumah Kaca Terhadap Pemanasan Global di Indonesia. *Jurnal Ilmu Lingkungan dan Sains*, 5(2), 112–120.

Anggraeni, D., Ramadhan, F., & Lestari, S. (2023). Dampak Akumulasi Emisi Karbon Dioksida (CO_2) Terhadap Perubahan Iklim Global. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 24(1), 45–56.

Appi', M., Mansur, I., & Kusmana, C. (2019). Persamaan Alometrik Biomassa di atas Tanah Jenis Cempaka (*Magnolia elegans*) Pada Hutan Tanaman. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 10(2), 85–92.

Ariani, N., Wahyuni, S., & Siregar, I. Z. (2014). Metode Pengovenan dan Penentuan Berat Jenis Kering Oven pada Sampel Biomassa Tumbuhan Bawah dan Serasah. *Jurnal Penelitian Hutan*, 12(3), 175–183.

Arnet, M., Santos, B., Brockerhoff, E.G., Pelser, P.B., Ecroyd, C., & Clemens, J. (2015). Importance of Arboreta for ex Situ Conservation of Threatened Trees. *Biodiversity and Conservation, 24*, 3601–3620.

Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2019). *SNI 7724:2019: Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon—Pengukuran Lapangan Untuk Penaksiran Cadangan Karbon Berbasis Lahan (Land-Based Carbon Accounting)*.

Bagaskara, A., Kusmana, C., & Yunasfi. (2024). Keragaan Komposisi Jenis, Struktur Tegakan, Biomassa dan Simpanan Karbon pada Tegakan di Arboretum Bambu Kampus IPB Darmaga. *Journal of Tropical Silviculture*, 15(2), 107–114.

Bakti, S., Siregar, H., & Utomo, B. (2018). *Metodologi Inventarisasi Hutan dan Teknik Sampling Lapangan*. Medan: USU Press.

Banjarnahor, K. G., Setiawan, A., & Darmawan, A. (2018). Estimation on the Change of Above-Ground Carbon Stock in Arboretum University of Lampung. *Jurnal Sylva Lestari*, 6(2), 51–59. https://doi.org/10.23960/jsl2651-59.

Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., Henry, M., Martínez-Yrízar, A., Mugasha, W. A., Muller-Landau, H. C., Mencuccini, M., Nelson, B. W., Ngomanda, A., Nogueira, E. M., Ortiz-Malavassi, E., Pélissier, R., Ploton, P., Ryan, C. M., Saldarriaga, J. G., & Vieilledent, G. (2014). Improved Allometric Models to Estimate the Aboveground Biomass of Tropical Trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177–3190. https://doi.org/ 10.1111/gcb.12629.

Darlina, L., Santoso, E., & Wijaya, A. (2023). Estimasi Cadangan Karbon Total dan Kemampuan Serapan Karbon di Taman Maluku Kota Bandung. *Jurnal Lanskap Indonesia*, *15*(1), 34–42.

Dewi, R., Heriansyah, I., & Siregar, C. A. (2019). Pendugaan Biomassa di atas Tanah pada Tegakan Jambu Biji (*Psidium guajava*) menggunakan model alometrik non-destruktif. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 16(2), 121–134.

Endriani, R., & Sunarti, S. (2019). Peran Hutan Kota sebagai *Carbon sink* dalam Sekuestrasi Karbon untuk Mitigasi Perubahan Iklim Mikro. *Jurnal Green Growth dan Manajemen Lingkungan*, 8(2), 78–89.

Krisnawati, H., Adinugroho, W. C., & Imanuddin, R. (2012). *Persamaan Alometrik untuk Pendugaan Biomassa Pohon pada Berbagai Tipe Ekosistem Hutan di Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.

Mensah, S., Veldtman, R., Assogbadjo, A.E., Glèlè Kakaï, R., & Seifert, T. (2016). Tree Species Diversity Promotes Aboveground Carbon Storage Through Functional Diversity and Functional Dominance. *Ecology and Evolution, 6*(20), 7546–7557.

Nabilla, S., Rudi, M., & Sari, N. A. (2021). Keanekaragaman Spesies Pohon di Kawasan Kebun Raya Institut Teknologi Sumatera. *Jurnal Kehutanan Tropis*, 9(3), 210–218.

Napolion, R., Setiawan, B., & Tarigan, J. (2015). Fungsi Arboretum sebagai Kawasan Konservasi *Ex-Situ* dan peny erap karbon alami. *Jurnal Ekologi dan Lingkungan, 17*(1), 55–63.

Nofrianto, N., Ratnaningsih, A. T., & Ikhwan, M. (2018). Pendugaan Potensi Karbon Tumbuhan Bawah dan Serasah di Arboretum Universitas Lancang Kuning. *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan*, 13(2), 144–155. https://doi.org/10.31849/forestra.v13i2.1568

Panjaitan, S., Sitorus, R., & Ginting, E. (2024). Analisis Konversi Kandungan Karbon ke Ekuivalen Serapan CO_2 pada Vegetasi Tropis. *Jurnal Ilmu Kehu tanan Indonesia*, 12(1), 14–25.

Prajapati, R., Sharma, P., & Kumar, A. (2023). Effectiveness of Urban

Arboretums in Climate Change Mitigation Through Carbon Sequestration. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(4), 482–495. https://doi.org/10.1007/s10661-023-11052-x.

Pratama, R. (2019). Efek rumah kaca terhadap pemanasan global. *Jurnal Buletin Utama Teknik*, 1*4*(2), 120–126.

Ristiara, A., Supriyanto, S., & Wulandari, C. (2017). Model Alometrik untuk Pendugaan Biomassa atas Tanah Tegakan Sengon (*Falcataria moluccana*) di Lahan Rakyat. *Jurnal Sylva Lestari*, 5(3), 67–76.

Rohman, A., Haneda, N. F., & Amalia, R. (2021). Pengaruh Kerapatan Kanopi Terhadap Mikroklimat (Suhu dan Kelembaban Relatif) Lantai Hutan. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, *18*(2), 99–111.

Rudi, M. (2022). *Laporan Pengelolaan Koleksi Spesies Pohon di Arboretum Kebun Raya ITERA*. UPT Kebun Raya ITERA (Laporan Tidak Diterbitkan).

Saputra, H., Purwanto, R. H., & Sumardi, S. (2018). Penggunaan Metode Non-Destruktif DBH (*Diameter at Breast Height*) dalam Penaksiran Biomassa Karbon Hutan Tropis. *Jurnal Ilmu Kehutanan, 12*(2), 158–169.

Siswanto, H., Nugroho, R. W., Pambudhi, F., Suhardiman, A., Aryanto, Ruslim, Y., & Aquastini, D. (2024). Membangun Distribusi Biomassa di Hutan Alam Dipterokarpa. *ULIN: Jurnal Hutan Tropis*, *8*(1), 30. https://doi.org/10.32522/ujht.v8i1.13176.

Taylor, P. G., Cleveland, C. C., Wieder, W. R., Sullivan, B. W., Doughty, C. E., & Townsend, A. R. (2017). Temperature and Rainfall Interact to Control Carbon Cycling in Tropical Forests. *Ecology Letters, 20*(6), 779–788. https://doi.org/10.1111/ele.12752.

Uthbah, A. U., Prayitno, T. A., & Shidiq, M. (2017). Struktur Tegakan dan Pendugaan Biomassa Pohon Damar (*Agathis dammara*) di Hutan Pegunungan Bawah. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu, 15*(1), 44–53.

Wassihun, A.N., Hussin, Y.A., van Leeuwen, L.M., & Latif, Z.A. (2019). Effect of Forest Stand Density on the Estimation of above Ground Biomass/Carbon Stock Using Airborne and Terrestrial LIDAR Derived Tree Parameters in Tropical Rain Forest, Malaysia. *Environmental Systems Research, 8*(1), 27.

Witno, Puspaningsih, N., & Kuncahyo, B. (2018). Model Pendugaan Biomassa di Areal Revegetasi Bekas Tambang Nikel. *Media Konservasi, 23*(2), 293–302.

Zaenal, M., Herwanti, S., & Hilmanto, R. (2020). Pendekatan Model Statistik Alometrik dalam Pendugaan Biomassa Hutan Skala Luas Tanpa Merusak Tegakan (*Destructive Sampling*). *Jurnal Analisis Kehutanan, 17*(2), 135–148.

Volume 8 Nomor 1 Juni 2026: 59-72

ANALISIS TINGKAT KERAWANAN LONGSOR MENGGUNAKAN METODE *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK* DI DAERAH ALIRAN SUNGAI SULI, KABUPATEN LUWU

Analysis of Landslide Susceptibility Levels Using Artificial Neural Network Method in the Suli Watershed, Luwu Regency

A. Muhammad Reza Fahlefi[1], Muh. Ilham Basmar[2]
[1]*Program Studi Kehutanan Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin,* Makassar
[2]*Program Studi Kehutanan Fakultas Kehutanan Universitas Andi Djemma, Palopo*
e-mail: muilham630@gmail.com

ABSTRACT

The complex geographical characteristics of the Suli Watershed, including steep slopes, high rainfall, and a vulnerable geological structure, contribute to a high potential for landslides. Therefore, a specialized approach using an Artificial Neural Network (ANN) model is required. This study aims to identify landslide events during the 2020–2024 period, analyze their influencing factors, and map landslide vulnerability in the Suli Watershed using an ANN model. This quantitative study was conducted from June 2025 to January 2026 in the Suli Watershed and at the Watershed Management Laboratory of Hasanuddin University using spatial and statistical analysis. A total of 152 landslide points were identified for the 2020–2024 period through time-series image interpretation, with the highest incidence in 2024 (42.76%) and the lowest in 2021 (7.89%). ANN modeling indicated that slope aspect is the most dominant parameter influencing landslides. Landslide susceptibility levels were divided into five classes, with the "High" class dominating 22.80% of the area, while the "Very Low" class covered the smallest area (17.38%). Slope aspect plays a significant role in landslide susceptibility within the Suli Watershed. The resulting hazard map is expected to serve as a basis for disaster risk mitigation and management planning in the region.
Keywords: *Artificial Neural Network; Landslide; Suli Watershed*

ABSTRAK

Karakteristik geografis DAS Suli yang kompleks dengan kelerengan curam, curah hujan tinggi, dan struktur geologi yang rentan memicu tingginya potensi tanah longsor. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan khusus menggunakan model Artificial Neural Network (ANN). Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi kejadian longsor periode 2020–2024, menganalisis faktor pengaruhnya, dan memetakan kerawanan tanah longsor di DAS Suli dengan model ANN. Penelitian kuantitatif ini dilaksanakan pada Juni 2025 hingga Januari 2026 di DAS Suli dan Laboratorium Pengelolaan DAS Universitas Hasanuddin menggunakan analisis spasial serta statistik. Ditemukan 152 titik longsor periode 2020–2024 melalui interpretasi citra time series, dengan kejadian tertinggi pada 2024 (42,76%) dan terendah pada 2021 (7,89%). Pemodelan ANN menunjukkan bahwa arah lereng merupakan parameter paling dominan yang memengaruhi longsor. Tingkat kerawanan dibagi menjadi lima kelas, di mana kelas "Tinggi" mendominasi wilayah sebesar 22,80%, sedangkan kelas "Sangat Rendah" memiliki luasan terkecil (17,38%). Arah lereng berperan signifikan terhadap kerawanan longsor di DAS Suli. Peta kerawanan yang dihasilkan diharapkan menjadi landasan perencanaan mitigasi dan pengelolaan risiko bencana di wilayah tersebut.
Kata Kunci: *Artificial Neural Network*, DAS Suli, Tanah Longsor

Volume 8 Nomor 1 Juni 2026: 59-72

PENDAHULUAN

Bencana tanah longsor didefinisikan sebagai suatu proses pengikisan permukaan lahan yang terjadi secara bersamaan dengan pergerakan massa tanah, pada akhirnya menyebabkan terjadinya perpindahan, pergeseran, maupun pembalikan lapisan tanah dan batuan pada suatu bidang lahan tertentu (Yassar *et al*., 2020). Tanah longsor sebagai fenomena hidrogeomorfologi umumnya terjadi pada wilayah pegunungan pada saat musim hujan (Rahmad *et al*., 2018). Wilayah pegunungan memiliki morfologi yang kasar, sehingga dapat menginisiasi pergerakan tanah yang besar, sebanding dengan gaya gravitasi yang diterima, terlebih pada lereng perbukitan yang curam (Muddarisna *et al*., 2019).

Sementara itu, intensitas curah hujan yang tinggi akan meningkatkan kadar air, menurunkan daya hisap, dan memengaruhi kekuatan geser dari tanah (Liu *et al*., 2021). Karakteristik geomorfologi dan klimatologi yang kompleks ini sangat relevan dengan kondisi wilayah di Sulawesi Selatan, seperti kawasan Pegunungan Latimojong atau wilayah visual perbukitan karst dan non-karst di Maros-Pangkep dan Gowa, yang secara historis memiliki kerentanan tinggi terhadap longsor akibat kombinasi kelerengan curam dan curah hujan musiman yang ekstrem.

Keterbatasan yang sering dijumpai dalam proses identifikasi kejadian tanah longsor secara langsung di lapangan mendorong perlunya penerapan metode yang lebih efektif dan efisien. Sejalan dengan pesatnya perkembangan teknologi informasi, proses identifikasi dan pemetaan potensi longsor kini banyak dilakukan melalui pendekatan analisis spasial yang memanfaatkan data hasil penginderaan jauh. Berbagai metode konvensional berbasis statistik seperti *Analytical Hierarchy Process* (AHP), *Frequency Ratio* (FR), serta *Logistic Regression* (LR) telah lama digunakan. Namun, metode-metode tersebut memiliki keterbatasan linearitas; AHP sangat bergantung pada subjektivitas pakar, sedangkan FR dan LR seringkali gagal memodelkan hubungan non-linear yang rumit antara faktor pengondisi longsor yang multi-dimensi. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, metode *Artificial Neural Network* (ANN) hadir sebagai alternatif unggul yang banyak digunakan dalam kajian kerentanan longsor.

Menurut Sheela & Deepa (2013), ANN merupakan suatu model komputasi pemrosesan informasi yang terinspirasi dari struktur biologis sistem saraf, yang meniru mekanisme kerja otak manusia. Model ini tersusun atas sejumlah unit pemrosesan yang disebut neuron, yang saling terhubung satu sama lain untuk memecahkan permasalahan tertentu. Setiap neuron menerima sinyal dari data masukan yang diproses melalui fungsi aktivasi untuk menghasilkan keluaran. Keunggulan utama ANN dibandingkan metode seperti LR, FR, atau AHP terletak pada kemampuan adaptifnya dalam mengenali pola-pola spasial yang sangat kompleks dan bersifat *highly non-linear* tanpa memerlukan asumsi distribusi data tertentu. Tidak seperti AHP yang subjektif atau FR/LR yang kaku terhadap interaksi antar-variabel, ANN mampu melakukan *self-learning* dan mengeksraksi bobot hubungan antar faktor secara otomatis melalui proses *backpropagation*.

Penelitian terdahulu di wilayah Sulawesi Selatan, khususnya dalam memetakan zona kerentanan longsor di sepanjang jalur trans-Sulawesi (seperti area poros Maros-Bone atau kawasan dataran tinggi Malino), menunjukkan bahwa model berbasis ANN mampu memberikan akurasi prediksi (nilai AUC) yang lebih stabil dan tinggi dibandingkan metode statistik multivariat konvensional, mengingat karakteristik topografi wilayah tersebut yang sangat dinamis dan heterogen.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2025 – Januari 2026. Berfokus pada analisis tingkat kerawanan longsor yang berlokasi di Daerah Aliran Sungai (DAS) Suli, Kabupaten Luwu, dengan luas wilayah mencapai 189.278 hektare. Secara administratif, DAS Suli berada dalam satu wilayah kabupaten, yaitu Kabupaten Luwu, dan mencakup lima kecamatan, yakni Kecamatan Bua, Kecamatan Ponrang, Kecamatan Paremang, Kecamatan Bajo, dan Kecamatan Suli. Berdasarkan laporan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Luwu, pada bulan Mei 2024 wilayah tersebut mengalami bencana alam berupa banjir bandang yang berdampak pada tiga belas kecamatan, meliputi Kecamatan Latimojong, Suli, Suli Barat, Ponrang Selatan, Ponrang, Bupon, Larompong, Larompong Selatan, Bajo, Bajo Barat, Kamanre, Belopa, dan Belopa Utara.

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan bahan

No	Nama Alat	Jenis / Keterangan	Fungsi / Kegunaan
1	Perangkat lunak GIS	*Software* Spasial	Menganalisis spasial dan pemodelan
2	Perangkat lunak statistik SPSS	*Software* Statistik	Menganalisis statistik uji akurasi ROC dan untuk menganalisis statistik *frekuensi ratio*
3	GPS (*Global Position System*)	Perangkat Keras	Melakukan *ground check* kejadian tanah longsor
4	Laptop	Perangkat Keras	Mengelola data penelitian
5	Alat tulis menulis	Logistik / ATK	Mencatat alur penelitian
6	Kamera	Perangkat Keras	Mendokumentasikan kegiatan selama di lapangan
No	**Nama Bahan**	**Sumber / Resolusi / Skala**	**Fungsi / Kegunaan**
1	Citra Time Series tahun 2020 – 2024	Google Earth Pro	Menginventarisasi kejadian tanah longsor
2	Citra Sentinel-2 L2A Tahun 2019	Google Earth Engine (Unduh: 18 Oktober 2019)	Menganalisis Tutupan lahan
3	Citra DEMNAS (Digital Elevation Model Nasional) tahun 2024	Resolusi 8 meter [DEMNAS Inageoportal]	Menganalisis data faktor kemiringan lereng, ketinggian, arah lereng, kelengkungan bumi, dan jarak dari sungai
4	Peta Geologi	Skala 1:250.000 [Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Indonesia]	Digunakan untuk data pembangun faktor litologi
5	Data curah hujan tahunan 2021-2025	Titik stasiun global weather	Menganalisis data curah hujan
6	Peta RBI tahun 2024	[DEMNAS Inageoportal]	Data pendukung analisis dan administrasi
7	Peta batas DAS tahun 2021	[Direktorat Jenderal Pengendalian DAS]	Peta batas dasar lokasi penelitian

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini melalui beberapa tahapan, yaitu mulai dari tahap persiapan data, analisis data, validasi, dan hasil validasi. Pada tahap persiapan data, dilakukan identifikasi tanah longsor pada *Google Earth Pro* selama periode 2020 sampai dengan 2024 menggunakan citra *Time Series* sehingga menghasilkan data kejadian tanah longsor yang dimana sebanyak 70% data longsor digunakan untuk *training* dan 30% data longsor digunakan untuk validasi, kemudian penyiapan data faktor penyebab tanah longsor yang bersumber dari data dan analisis spasial. Masuk pada tahap analisis data, dimana faktor-faktor penyebab tanah longsor akan

dilakukan analisis lanjutan yaitu dengan menerapkan *Frequency ratio* untuk mendapatkan nilai dari tiap kelas faktor penyebab kejadian tanah longsor yang diikuti dengan pemodelan ANN yang digunakan untuk mendapatkan nilai normalisasi dari tiap kelas faktor penyebab tanah longsor.

Setelah nilai normalisasi didapatkan, dilakukan *overlay* pada 70% data longsor untuk *training* terhadap data faktor penyebab tanah longsor hasil pemodelan ANN yang selanjutnya akan dilakukan uji statistik pada *software* SPSS untuk mendapatkan 10 (sepuluh) nilai iterasi untuk mendapatkan nilai indeks kerawanan tanah longsor yang kemudian akan menghasilkan data validasi tingkat prediksi (validasi I) dan data validasi tingkat kesuksesan (validasi II) didapatkan hasil uji statistik pada 30% data kejadian tanah longsor yang di *overlay* dengan 10 nilai iterasi dan pada bagian hasil yang didapatkan berupa peta tingkat kerawanan tanah longsor.

Analisis Data

Identifikasi Tanah Longsor

Identifikasi tanah longsor dilakukan melalui interpretasi citra penginderaan jauh berdasarkan karakteristik spektral, morfologi, dan kontras (Soma & Kubota, 2017). Inventarisasi lokasi longsor dan pemetaan kejadian dilakukan untuk periode 5 tahun terakhir (2020-2024) menggunakan citra *time series* dari *Google Earth Pro*. Setiap titik longsor ditandai dengan koordinat dan poligon, kemudian divalidasi secara lapangan, dengan data kejadian tahunan sebagai data primer. Tidak adanya pedoman yang ketat untuk pemilihan faktor tanah longsor, penentuan faktor didasarkan pada ketersediaan data di wilayah penelitian (Soma *et al*., 2019). Faktor penyebab yang menjadi variabel dalam penelitian ini seperti data curah hujan, lereng, jarak dari sungai, litologi, ketinggian, jarak dari patahan, tutupan lahan, arah lereng, dan kelengkungan bumi.

Pengolahan Data

Pengelolaan data dengan pendekatan kualitatif memanfaatkan teknik statistik sederhana guna menentukan tingkat kedekatan antara kejadian tanah longsor dan faktor-faktor penyebabnya. Metode ini menerapkan rasio frekuensi terlebih dahulu, diikuti dengan pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN). Pada tahap pertama, nilai normalisasi untuk masing-masing faktor penyebab longsor diperoleh melalui metode *Frequency ratio*, yang merupakan perbandingan antara luas daerah longsor dengan total luas area penelitian, serta perbandingan probabilitas terjadinya longsor versus tidak longsor (Tazik *et al*., 2014).

Frequency ratio sebesar 1 berarti frekuensi kejadian sama antara kelompok longsor dan non-longsor, sehingga tidak terdapat hubungan signifikan di antara keduanya. Jika nilai rasio melebihi 1, maka korelasi antara longsor dan faktor penyebabnya tergolong tinggi; sebaliknya, jika kurang dari 1, korelasi tersebut rendah (Lee & Lee, 2006). Nilai rasio pada setiap kelas menggambarkan derajat hubungan, dihitung menggunakan rumus standar (Soma *et al*., 2019). Selanjutnya, hasil data nilai normalisasi dari frekuensi rasio digunakan untuk melajutkan analisis data. Kemudian, memproses jumlah tersebut (jika melebihi ambang batas neuron, neuron kemudian diaktifkan) menggunakan fungsi aktivasi non-linear untuk menghasilkan hasil (yi) yang merupakan output dengan persamaan (Soma *et al*., 2019):

$$yi = G + (b^2 + W^2 \left(s(b^1 + W^i i)\right))$$

Keterangan :

yi = Hasil Dari Artificial Neural Network

G = Fungsi aktifasi

$b1$ = Bias vektor 1

$W1$ =Matriks bobot 1

$b2$ = Bias vektor 2

$W2$ = Matriks bobot 2

Hasil analisis data telah dinormalisasi dalam skala 0 sampai 1. Proses penskalaan

Volume 8 Nomor 1 Juni 2026: 59-72

ini bertujuan untuk menyempurnakan akurasi informasi digital pada tahap berikutnya serta menghasilkan output yang lebih presisi (Sheela & Deepa, 2013). Dalam studi kali ini, digunakan model *Multi-layer Perceptron* (MLP). Setiap neuron di lapisan tersembunyi maupun lapisan output melakukan pemrosesan input melalui perkalian masing-masing input x_i dengan bobot sinapsis yang sesuai w_i (Soma *et al*., 2019):

$$LS\ ANN = \sum_{i=0}^{n} Wi\ Xi$$

Keterangan :
LS ANN = Peta akhir kerawanan tanah longsor dihitung untuk semua piksel
Wi = Bobot input
Xi = Input

Validasi Peta Kerawanan Tanah Longsor

Validasi Data

Pemodelan ANN diterapkan untuk memvalidasi hasil analisis kerawanan longsor dengan memanfaatkan data historis guna mengevaluasi akurasi peta. Data validasi lapangan digunakan sebagai acuan utama yang dianggap paling akurat untuk merepresentasikan kondisi risiko sebenarnya. Menurut Fadilah *et al*., (2019), validasi dilakukan melalui analisis AUC (Area Under Curve) berdasarkan kurva ROC (Receiver Operating Characteristic) menggunakan software SPSS, dengan klasifikasi hasil sebagai berikut: 0,5-0,6 (gagal), 0,6-0,7 (buruk), 0,7-0,8 (cukup), 0,8-0,9 (baik), dan 0,9-1 (sangat baik) (Rasyid *et al*., 2016).

Peta Kerawanan Tanah Longsor

Selanjutnya, setelah di dapatkan nilai hasil dari nilai ANN dilakukan Overlay pada peta tingkat kerawanan tanah longsor yang terdiri dari atas 5 kelas yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Klasifikasi ini digunakan untuk menentukan kelas kerawanan tanah longsor menggunakan model natural *breaks* (Jenks) yang ada pada aplikasi ArcGIS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi dan Inventarisasi Tanah Longsor

Berdasarkan hasil identifikasi kejadian tanah longsor di DAS Suli, Kabupaten Luwu, Sulawesi Selatan, Indonesia. Metode yang digunakan dalam menginventarisasi kejadian tanah longsor menggunakan inventarisasi dan interpretasi daerah kejadian tanah longsor. Inventarisasi di lakukan dari bagian hulu, tengah, sampai bagian hilir dan jumlah kejadian tanah longsor yang di interpretasi menggunakan visual *Citra Time Series* dari *Google Earth Pro* dari tahun 2020 sampai dengan tahun 2024. Dari hasil inventarisasi ini menghasilkan data sebanyak 152 kejadian tanah longsor. Identifikasi berdasarkan hasil dari interpretasi bentuk arah jatuh tanah, kemiringan lereng dan rona/warna tanah longsor tersebut yang memiliki luasan yang bervariasi (Kanungo *et al*., 2006 dalam Soma & Kubota, 2017).

Dari data tersebut menunjukkan kejadian tanah longsor terbanyak terjadi pada tahun 2024 sebanyak 65 kejadian dengan persentase (42,76%), kemudian tahun 2022 sebanyak 30 kejadian dengan persentase (19,74%), tahun 2023 sebanyak 26 kejadian dengan persentase (17,11%), tahun 2020 sebanyak 19 kejadian dengan persentase (12,5%), dan yang paling sedikit terjadi pada tahun 2021 sebanyak 12 kejadian dengan persentase (7,89%). Hasil dari inventarisasi ini lalu di ekstrak dengan format (kml atau kmz) yang kemudian di import atau dilakukan pemindahan data ke dalam aplikasi GIS untuk dilakukan analisis lanjutan.

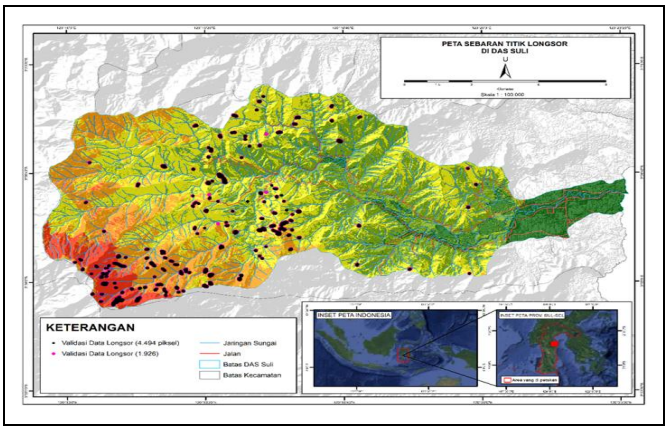
Hasil dari data tersebut dapat dilihat pada Gambar 6 peta sebaran kejadian tanah longsor tahun 2020-2024 yakni dari data poligon (vektor) tersebut dilakukan uji topologi guna mengatasi *error* yang kemudian dikonversi menjadi data raster yang nantinya akan digunakan sebagai basis data dalam pemodelan. Adapun pembagian data untuk memperoleh validasi tingkat

sukses model dalam menghitung nilai peluang tanah longsor yaitu 70% untuk data training model sebanyak 4.494 piksel dan 30% untuk data validasi sebanyak 1926 piksel dari total piksel DAS Suli yaitu sebanyak 1.892.831 piksel.



Gambar 1. Bentuk interpretasi kejadian longsor menggunakan *Google Earth Pro* dan Validasi aktual di lapangan

Hasil dari data tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 peta sebaran kejadian tanah longsor tahun 2020-2024 yakni dari data poligon (vektor) tersebut dilakukan uji topologi guna mengatasi error yang kemudian dikonversi menjadi data raster yang nantinya akan digunakan sebagai basis data dalam pemodelan. Adapun pembagian data untuk memperoleh validasi tingkat sukses model dalam menghitung nilai peluang tanah longsor yaitu 70% untuk data training model sebanyak 4.494 piksel dan 30% untuk data validasi sebanyak 1926 piksel dari total piksel DAS Suli yaitu sebanyak 1.892.831 piksel.



Gambar 2. Peta sebaran titik longsor di DAS Suli

Faktor Penyebab Tanah Longsor

Faktor yang digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis penyebab kerawanan tanah longsor yang dipilih dari studi literatur, ketersediaan data, dan kondisi tempat penelitian. Berdasarkan hal itu ada 8 (delapan) faktor yang digunakan sebagai parameter untuk menganalisis penyebab kerawanan tanah longsor. Faktor tersebut yaitu tutupan lahan, curah hujan, litologi, jarak dari sungai, kelengkungan bumi, kemiringan lereng, aspek lereng, dan ketinggian. Data mentah dari faktor-faktor tersebut didapatkan dari berbagai sumber yang terpercaya.

Seperti pada data curah hujan didapatkan dari situs CHRS, tutupan lahan didapatkan dari citra sentinel 2 L2A tahun 2019 yang diunduh Esa Copernicus, data ketinggian, aspek lereng, kemiringan lereng, kelengkungan bumi didapatkan dari data DEMNAS, data litologi didapatkan dari hasil ekstraksi peta geologi, dan data jarak

dari sungai didapatkan dari analisis SIG yaitu Euclidien Distance dengan dasar data DEMNAS. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, faktor yang sangat berpengaruh yaitu ada pada faktor ketinggian, kemiringan lereng, tutupan lahan dan aspek lereng.

Frekuensi rasio dan Normalisasi Data

Hasil dari olah data diketahui bahwa nilai yang dihasilkan cukup beraneka ragam. Jika dilihat pada tabel 1 nilai frekuensi rasio dan nilai normalisasi dengan faktor-faktor penyebab tanah longsor bahwa nilai FR tertinggi terdapat pada faktor ketinggian di

kelas >1000 m dengan nilai FR 2.35 yang menunjukkan kelas ini memiliki peluang kejadian tanah longsor yang sangat tinggi. Dimana metode FR difungsikan untuk mengetahui tingkat kerawanan tanah longsor yang didasarkan faktor penyebab terjadinya tanah longsor yang dihitung melalui piksel inventarisasi kejadian tanah longsor dan menghitung piksel kelas per parameter kondisi terjadinya tanah longsor. Nantinya dimana jika piksel yang di hasilkan >1 maka dapat dinyatakan peluang terjadinya tanah longsor tinggi, sedangkan jika nilai yang dihasilkan <1 dinyatakan peluang terjadinya tanah longsor rendah. Hal ini sejalan dengan pendapat (Rasyid *et al*., 2016) yang mendeskripsikan bahwa nilai rasio FR menunjukkan adanya korelasi antara longsor dengan masing-masing kelas faktor penyebab longsor dalam format numerik.

Tabel 2. Nilai frekuensi rasio dan nilai normalisasi frekuensi rasio dengan faktor-faktor penyebab tanah longsor

No	Parameter	Kelas	Piksel Longsor	%Piksel Longsor	Piksel Kelas	%Piksel Longsor	FR	Normalisasi FR
1	Tutupan lahan	Semak Belukar	503	11.35	162339	8.58	1.32	0.59
		Pertanian Lahan Kering Sekunder	1913	43.18	366495	19.36	2.23	1
		Hutan Mangrove Sekunder	0	0	754	0.04	0	0
		Pemukiman	0	0	37621	1.99	0	0
		Perkebunan	0	0	3470	0.18	0	0
		Pertanian Lahan Kering	585	13.21	376109	19.87	0.66	0.3
		Pertanian Lahan Kering Campur	1290	29.12	794953	42	0.69	0.31
		Sawah	0	0	84148	4.45	0	0
		Tambak	0	0	23542	1.24	0	0
		Tanah Terbuka	139	3.14	30648	1.62	1.94	0.87
		Tubuh Air	0	0	12752	0.67	0	0
2	Curah Hujan	3062.969 - 3088.830	0	0	118069	6.24	0.00	0.00
		3088.830 - 3114.692	26	0.59	138160	7.30	0.08	0.05
		3114.692 - 3138.738	9	0.20	170873	9.03	0.02	0.01
		3138.738 - 3158.702	266	6.00	308308	16.29	0.37	0.24
		3158.702 - 3178.665	4129	93.21	1157421	61.15	1.52	1
3	Litologi	Sediment; clastic: alluvium	21	0.38	256129	13.53	0.04	0.03
		Extrusive; intermediate: lava	4409	99.62	1636702	86.47	1.15	1
4	Kemiringan Lereng	0-8%	6	0.14	194942	10.30	0.01	0.01
		8-15%	38	0.86	133878	7.07	0.12	0.07
		15-25%	199	4.49	234759	12.40	0.36	0.21
		25-45%	1489	33.61	655521	34.63	0.97	0.57
		>45%	2698	60.9	673731	35.59	1.71	1
5	Jarak Dari Sungai	>100 m	2342	52.87	823513	43.51	1.22	1
		0-20 m	397	8.96	229003	12.10	0.74	0.61
		20-40 m	454	10.25	225056	11.89	0.86	0.71
		40-60 m	425	9.59	218871	11.56	0.83	0.68
		60-80 m	420	9.48	207434	10.96	0.87	0.71
		80-100 m	392	8.85	188954	9.98	0.89	0.73
6	Kelengkungan Bumi	Cekung	1759	39.71	707576	37.38	1.06	1
		Datar	1802	40.68	828173	43.75	0.93	0.88
		Cembung	869	19.62	357082	18.86	1.04	0.98
7	Ketinggian	0-250 mdpl	161	3.63	752123	39.74	0.09	0.04
		250-500 mdpl	1054	23.79	333708	17.63	1.35	0.57
		500-750 mdpl	1083	24.45	236902	12.52	1.95	0.83
		750-1000 mdpl	148	3.34	209469	11.07	0.3	0.13
		>1000 mdpl	1984	44.79	360629	19.05	2.35	1
8	Aspek Lereng	Datar	523	11.81	257809	13.62	0.87	0.42

No	Parameter	Kelas	Piksel Longsor	%Piksel Longsor	Piksel Kelas	%Piksel Longsor	FR	Normalisasi FR
		Utara	606	13.68	262605	13.87	0.99	0.48
		Timur laut	771	17.40	276254	14.59	1.19	0.58
		Timur	469	10.59	248684	13.14	0.81	0.39
		Tenggara	297	6.70	212463	11.22	0.60	0.29
		Selatan	179	4.04	169905	8.98	0.45	0.22
		Barat daya	398	8.98	141501	7.48	1.20	0.59
		Barat	337	7.61	145600	7.69	0.99	0.48
		Barat laut	850	19.19	178010	9.40	2.04	1

Keterangan: :Nilai Normalisasi FR tertinggi di setiap parameter
: Nilai FR tertinggi dari semua kelas parameter

Berdasarkan Tabel 2. diatas dapat diketahui bahwa nilai yang dihasilkan sangat bervariatif dan terdapat nilai FR yang paling tinggi di antara semua faktor yaitu pada parameter ketinggian di kelas >1000 mdpl yaitu 2.35 yang memperlihatkan bahwa nilai ini memiliki peluang kejadian tanah longsor yang paling tinggi.

Artificial Neural Network (ANN)

Pada analisis ANN dengan menggunakan data FR yang sudah di normalisasikan dalam tabel 2. Selanjutnya, peta kerawanan tanah longsor akhir yang dihasilkan dikalikan pada setiap faktor penyebab yang dihitung melalui analisis ANN lalu dilakukan overlay dari lapisan-lapisan tersebut menggunakan MLP (*Multilayer Perception*). Hasil pengulangan terbaik yang akan di ambil yaitu pada uji percobaan ke 9 (sembilan). Kemudian, di input ke dalam persamaan dan peta LSI.

$$LS\ ANN = \sum_{i=0}^{n} Wi\ Xi$$

Keterangan :
LS ANN = Peta Akhir kerawanan tanah longsor dihitung untuk semua piksel
Wi = Bobot input
Xi = Input

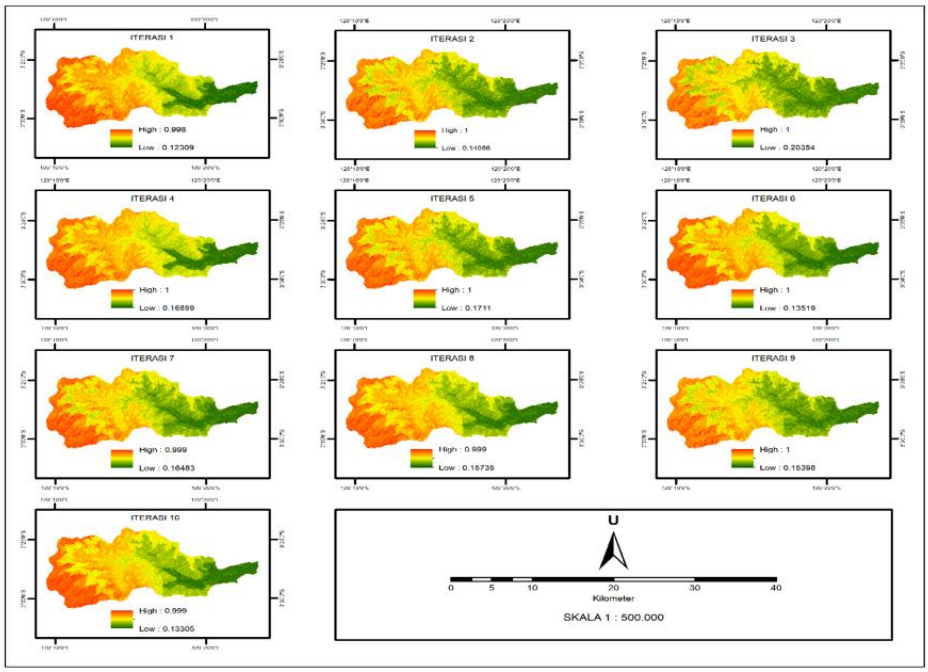
Validasi kurva ROC pada model ANN menghasilkan 10 data pengulangan terbaik. Tingkat validasi yang tinggi dicapai dari nilai AUC yang tinggi. Iterasi merupakan pendekatan berulang dalam mengatasi masalah matematika. Pada iterasi ke-9, diperoleh tingkat validasi tertinggi yang mensimulasikan kondisi lapangan secara lebih akurat. Berikut nilai kurva hasil ROC pemodelan ANN kerawanan tanah longsor dengan 10 nilai terbaik.

Tabel 3. Nilai pengulangan ROC pada pemodelan ANN

Faktor Longsor	ITERASI									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tutupan Lahan	0.132	0.18	0.116	0.14	0.115	0.144	0.186	0.149	0.153	0.179
Litologi	0.016	0.026	0.036	0.034	0.061	0.079	0.051	0.096	0.039	0.134
Jarak Dari Sungai	0.126	0.152	0.098	0.119	0.112	0.074	0.098	0.082	0.065	0.115
Kelengkungan Bumi	0.107	0.036	0.087	0.062	0.062	0.051	0.073	0.067	0.051	0.021
Curah Hujan	0.098	0.086	0.066	0.136	0.115	0.143	0.095	0.145	0.119	0.116
Arah Lereng	0.23	0.189	0.248	0.195	0.161	0.142	0.131	0.168	0.267	0.138
Ketinggian	0.206	0.195	0.269	0.246	0.241	0.263	0.227	0.187	0.216	0.236
Kemiringan Lereng	0.085	0.136	0.08	0.068	0.133	0.104	0.138	0.105	0.09	0.06

Keterangan : Nilai pengulangan ROC terbaik

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa nilai pengulangan dari semua faktor memang dapat mempengaruhi kejadian tanah longsor di wilayah ini. Akan tetapi, ada beberapa faktor yang memang sangat berpengaruh dalam kejadian ini. Jika dilihat faktor yang sangat berpengaruh yaitu ada pada faktor arah lereng, ketinggian, tutupan lahan dan curah hujan.



Gambar 3. Peta indeks kerawanan tanah longsor pada pengulangan ANN

Persamaan ANN yang diperoleh pada pengujian ke 9 (sembilan) sebagai berikut:

LSI ANNiterasi9 = (0.153) (ANNTutupanLahan) + (0.039) (ANNLitologi) + (0.065) (ANN Jarak Dari Sungai) + (0.051) (ANN Kelengkungan Bumi) + (0.119) (ANN Curah Hujan) + (0.267) (ANN Arah Lereng) + (0.216) (ANN Ketinggian) + (0.090) (ANN Kemiringan Lereng)

Keterangan :

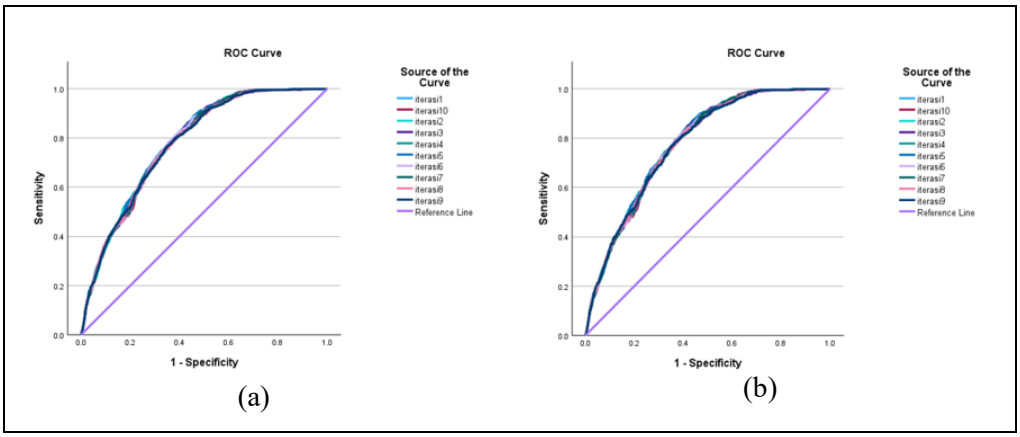
LSI ANN = Peta kerawanan tanah longsor akhir yang dihitung untuk setiap piksel

Nilai indeks kerawanan tanah longsor dari LSI ANN yang terbaik berkisar 0.153 – 1 dan peta indeks kerawanan tanah longsor akan di input dan di klasifikasikan menjadi 5 (lima) kelas dengan menggunakan *tools* (*Natural breaks*). Hasil olah data tersebut akan menghasilkan kelas yang berkisar dari sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi terhadap kerawanan tanah longsor.

Validasi Tingkat Kerawanan Tanah Longsor

Validasi dilakukan dengan kurva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) untuk klasifikasi multi-kelas. Hasil validasi ini mengevaluasi akurasi prediksi berdasarkan AUC (*Area Under Curve*). AUC merupakan indikator krusial untuk mendukung prediksi model. Nilai AUC sekitar 0,5 atau lebih rendah menandakan model tidak cocok untuk pemetaan kerawanan tanah longsor, sementara nilai AUC sempurna yaitu 1 menunjukkan model sangat ideal untuk memprediksi tren longsor. Literatur lain menyebutkan bahwa metode umum menghitung area di bawah kurva ROC adalah AUC, di mana bidang berada antara 0,0 dan 1,0; nilai di atas 0,5 yang paling menarik karena semakin tinggi luasnya, semakin baik kualitas data yang dihasilkan.

Tahap berikutnya melibatkan hasil analisis ROC untuk validasi. Validasi 1 bertujuan menilai tingkat keberhasilan model dari nilai ANN, sedangkan validasi 2 untuk mengukur kemampuan prediksi model terhadap kejadian longsor. Kurva hasil validasi dari software SPSS dengan analisis ROC pada DAS Suli dapat dilihat pada Gambar 4. dan Tabel 4.



Gambar 4. Kurva uji akurasi tingkat kesuksesan dan tingkat prediksi ANN

Tabel 4. Nilai AUC dari hasil analisis ROC untuk tingkat kesuksesan dan prediksi

Validasi	Nilai AUC
Tingkat Kesuksesan AUC (Validasi 1)	0.785
Tingkat Prediksi AUC (Validasi 2)	0.782

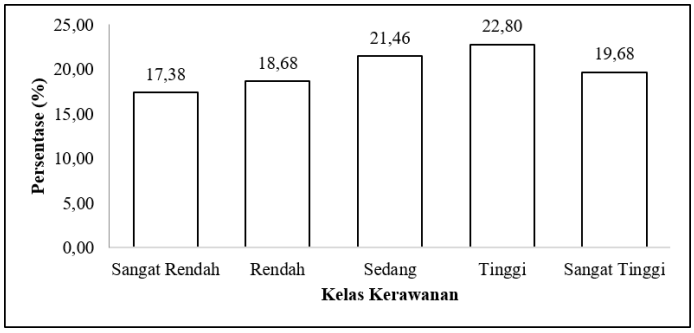
Berdasarkan hasil validasi yang diperoleh dari pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN) terhadap kejadian tanah longsor, diperoleh nilai 0.785 untuk tingkat keberhasilan model dan 0.782 untuk tingkat prediksi model. Hasil ini menunjukkan bahwa sekitar 70% data dari validasi ini memiliki tingkat akurasi yang cukup dalam menganalisis kejadian tanah longsor dengan menggunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN). Seperti yang di ungkapkan hal ini didukung oleh Kristiawan *et al*., (2021) yang menyatakan akan semakin baik bila nilai AUC mendekati 1, nilai AUC 0,5 - 0,6 dinyatakan sangat lemah, 0,6 – 0,7 lemah, 0,7– 0,8 sedang, 0,8 – 0,9 baik, dan 0,9 – 1 dinyatakan sangat baik.

Peta Tingkat Kerawanan Tanah Longsor

Peta kerawanan longsor ini dihitung berdasarkan analisis nilai LSI, yang divalidasi melalui langkah iterasi, kemudian dilanjutkan dengan penentuan nilai LSM menggunakan metode pembagian kelas pada klasifikasi menggunakan *natural breaks*. *Natural breaks* adalah metode pengklasifikasian untuk menentukan tingkat kerawanan longsor di suatu wilayah berdasarkan nilai prioritas global dari perhitungan. Hal ini sejalan dengan pendapat Basofi *et al*., 2016), yang menyatakan bahwa metode *natural breaks* memiliki adaptasi baik dan akurasi tinggi dalam pembagian unit lingkungan geografis.

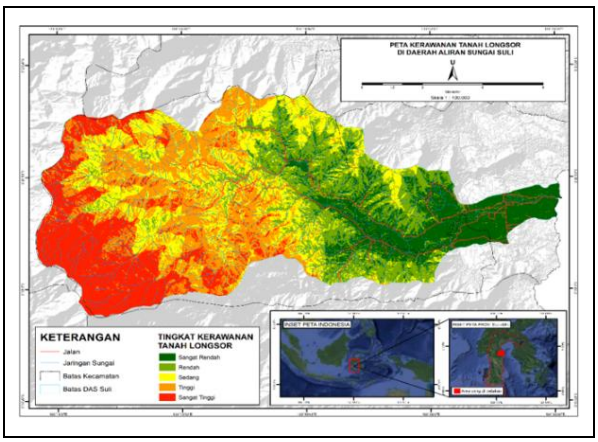
Tabel 5. Luasan LSM tanah longsor menggunakan ANN

No	Nilai Indeks Kerawanan	Nilai Kerawanan Tanah Longsor	Jumlah Piksel	Luas	
				(Ha)	(%)
1	0.15 - 0.33	Sangat Rendah	326.966	3.289,74	17.38
2	0.33 - 0.47	Rendah	355.596	3.535,39	18.68
3	0.47 - 0.6	Sedang	406.947	4.062,37	21.46
4	0.6 - 0.75	Tinggi	431.582	4.314,78	22.8
5	0.75 - 1	Sangat Tinggi	371.74	3.724,69	19.68
Jumlah			**1892.831**	**18.926,97**	**100**



Gambar 5. Persentase luas area kerawanan tanah longsor

Gambar 5. diatas memperlihatkan bahwa kerawanan longsor tanah di DAS Suli diklasifikasikan ke dalam 5 (lima) kategori yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Dominasi terbesar ada pada kelas tinggi mencakup 4.314,78 Ha atau 22,87%. Selanjutnya, kelas sedang 4.062,37 Ha (21,46%), kelas sangat tinggi 3.724,69 Ha (19,68%), kelas rendah 3.535,39 Ha (18,68%), dan sangat rendah 3.289,74 Ha (17,38%).



Gambar 6. Peta Kerawanan Tanah Longsor DAS Suli

Hasil dari pengolahan data kejadian tanah longsor menggunakan metode ANN beserta 8 (delapan) faktor menghasilkan sebuah peta kerawanan tanah longsor DAS Suli yang di klasifikasikan menjadi 5 (lima) kelas yaitu; sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, sangat tinggi. Faktor yang mendominasi kerawanan tanah longsor pada kelas tinggi dan sangat tinggi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Faktor yang mendominasi kelas kerawanan tanah longsor tinggi dan sangat tinggi

Faktor	Kelas Kerawanan	
	Tinggi	Sangat Tinggi
Tutupan Lahan	Hutan Lahan Kering Sekunder	Hutan Lahan Kering Sekunder
Litologi	Extrusive; intermediate: lava	Extrusive; intermediate: lava
Jarak Dari Sungai	40-60 meter	20-40 Meter
Ketinggian	>1000 Mdpl	>1000 Mdpl
Arah Lereng	Timur	Timur
Kelengkungan Bumi	Cekung	Cekung
Curah Hujan	3158.702 - 3178.665 mm/tahun	3158.702 - 3178.665 mm/tahun
Kemiringan Lereng	>45%	>45%

Berdasarkan tabel di atas dapat disimpulkan bahwa terdapat 8 (delapan) parameter yang dapat mempengaruhi tingkat kerawanan tanah longsor. Pada kelas kerawanan tinggi dan sangat tinggi didominasi oleh tutupan lahan hutan lahan kering sekunder, sejalan dengan (Fadilah *et al*., 2019) yang mengatakan bahwa pada

tutupan hutan lahan kering sekunder memiliki nilai frekuensi yang tergolong tinggi. Dari hasil pengamatan di lapangan, hutan lahan kering sekunder berada pada wilayah kemiringan lereng yang agak curam dan curam. Selain itu, masyarakat juga ditemukan masih melakukan aktivitas perkebunan, seperti jagung dan cengkeh. Tanaman-tanaman tersebut memiliki sistem perakaran yang tidak kuat di dalam tanah sehingga menyebabkan potensi terjadinya tanah longsor lebih besar terutama pada saat curah hujan tinggi.

Litologi *Extrusive*; *intermediate*: lava pada kelas tinggi dan sangat tinggi, menurut (Sujarwo, 2016), batuan kedap air ini biasanya memiliki pori-pori relatif kecil dan memiliki nilai tahanan jenis yang tinggi. Jika air menembus sampai lapisan kedap air, maka permukaan batuan lapisan kedap air akan melapuk sehingga menjadi licin inilah yang berperan sebagai bidang gelincir. Jarak dari sungai 40-60 meter pada kelas tinggi dan 20-40 meter pada kelas sangat tinggi. Kelengkungan bumi cekung pada kelas kerawanan tinggi dan sangat tinggi, bidang cekung sering kali merujuk pada jenis longsor rotasi dimana longsor rotasi merupakan pergerakan material tanah yang terjadi di dalam bidang yang berbentuk cekung. Karena bidang tersebut berbentuk cekung seperti mangkuk terbuka, sering kali ketika terjadi tanah longsor terjadi perputaran atau rotasi di dalam bidang cekung tersebut.

Curah hujan 3158.702-3178.665 mm/tahun pada kelas kerawanan tinggi dan sangat tinggi, menurut Lestari (2008), semakin tinggi curah hujan di suatu kawasan, maka peluang untuk terjadinya longsor juga akan semakin besar. Kemiringan lereng >45% dan pada kelas kerawanan tinggi dan sangat tinggi, dikarenakan lereng curam mempercepat aliran air permukaan, meningkatkan proses erosi, dan menurunkan kestabilan tanah. Ditambah dengan minimnya vegetasi pada lahan terbuka, potensi longsor semakin tinggi (Hari, 2025).

Dari hasil olah data tersebut, dapat disimpulkan bahwa DAS Suli memiliki karakteristik yang beragam. Perbedaan ini dipengaruhi oleh berbagai faktor penyebab, di mana masing-masing faktor memberikan dampak berbeda terhadap kejadian tanah longsor di wilayah tersebut. Oleh karena itu, pemahaman mengenai interaksi antar faktor dengan fenomena lapangan menjadi sangat penting. Pemetaan kerawanan tanah longsor menyediakan informasi untuk analisis mendalam, termasuk pemetaan potensi bahaya dan risiko longsor, sehingga berkontribusi dalam pencegahan serta pengendalian kerusakan infrastruktur.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian bahwa sebaran kejadian tanah longsor di DAS Suli selama periode 2020–2024 tercatat sebanyak 152 kejadian, dengan tren kejadian yang cenderung meningkat dan puncaknya terjadi pada tahun 2024, menunjukkan adanya peningkatan kerentanan longsor di wilayah DAS. Faktor dominan yang memengaruhi terjadinya tanah longsor berdasarkan pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN) adalah arah lereng, ketinggian, tutupan lahan, dan curah hujan, yang memiliki kontribusi terbesar dibandingkan parameter lainnya dalam menentukan tingkat kerawanan longsor. Hasil pemodelan ANN menunjukkan DAS Suli didominasi oleh kelas kerawanan longsor tinggi hingga sangat tinggi, terutama pada area dengan tutupan hutan lahan kering sekunder, kemiringan lereng >45%, ketinggian >1000 mdpl, litologi ekstrusif, dan curah hujan tinggi. Kondisi ini menunjukkan perlunya pengelolaan DAS yang lebih terarah, khususnya melalui konservasi tutupan lahan, pengendalian pemanfaatan ruang di lereng curam, serta upaya mitigasi bencana untuk menekan risiko longsor di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

Basofi, A., Fariza, A., Ahsan, A. S., & Kamal, I. M. (2016). A Comparison Between Natural and Head/Tail Breaks

in LSI (Landslide Susceptibility Index) Classification for Landslide Susceptibility Mapping: A case study in Ponorogo, East Java, Indonesia. *Proceedings - 2015 International Conference on Science in Information Technology: Big Data Spectrum for Future Information Economy, ICSITech 2015*, 337–342. https://doi.org/ 10.1109/ ICSITech. 2015.7407828.

Fadilah, N., Arsyad, U., & Soma, A. S. (2019). Analisis Tingkat Kerawanan Tanah Longsor Menggunakan Metode Frekuensi Rasio di Daerah Aliran Sungai Bialo. *Journal of Perennial, 15*(1), 42-50.

Hari, A., (2025). Pemetaan Daerah Rawan Longsor Menggunakan Data Citra Landsat 9 di Kecamatan Rote Tengah Kabupaten Rote Ndao. *Magnetic: Research Journal of Physics and It's Application*, *5*(1), 397-404.

Kristiawan, K., & Widjaja, A. (2021). Perbandingan Algoritma Machine Learning dalam Menilai Sebuah Lokasi Toko Ritel. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, *7*(1), 35-46.

Lee, S., & Lee, M. J. (2006). Detecting Landslide Location Using KOMPSAT 1 and its Application to Landslide-Susceptibility Mapping at the Gangneung Area, Korea. *Advances in Space Research, 38*(10), 2261-2271. https://doi.org/10.1016/ j.asr.2006.03.036.

Lestari, F. F., 2008. Penerapan Sistem informasi Geografis Dalam Pemetaan Daerah Rawan Longsor di kabupaten Bogor. [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor.

Liu, Y., Deng, Z., & Wang, X. (2021). The effects of rainfall, soil type and slope on the processes and mechanisms of rainfall-induced shallow landslides. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(24), 11652. https://doi.org/10. 3390/app112411652.

Muddarisna, N., Yuniwati, E. D., Masruroh, H., & Oktaviansyah, A. R. (2019). Geomorphology Approach as Landslide Assessment in the Gede Catchment Malang Regency. *EPH-International Journal of Science and Engineering, 5*(3), 23-27.

Rahmad, R., Suib, S., & Nurman, A. (2018). Aplikasi SIG Untuk Pemetaan Tingkat Ancaman Longsor di Kecamatan Sibolangit, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. *Majalah Geografi Indonesia*, *32*(1), 1. https://doi.org/10.22146/mgi.318 82.

Rasyid, A. R., Bhandary, N. P., & Yatabe, R. (2016). Performance of frequency ratio and logistic regression model in creating GIS based landslides susceptibility map at Lompobattang Mountain, Indonesia. *Geoenv ironmental Disasters*, *3*(1)1-16. https://doi.org/10.1186/s40677-016-0053-x.

Sheela, K. G., & Deepa, S. N. (2013). Review on methods to fix number of hidden neurons in neural networks. *Mathematical Problems in Engineering*, *2013*. https://doi.org/10. 1155/2013/425740.

Soma, A. S., & Kubota, T. (2017). The Performance of Land use Change Causative Factor on Landslide Susceptibility Map in Upper Ujung-Loe Watersheds South Sulawesi, Indonesia. *Geoplanning J. Geomatics Plan, 4*(2),157-170. https://doi.org /10.14710/geoplanning.4.2.157-170.

Soma, A. S., Kubota, T., & Mizuno, H. (2019). Optimization of causative factors using logistic regression and artificial neural network models for landslide susceptibility assessment in Ujung Loe Watershed, South Sulawesi Indonesia. *Journal of Mountain Science*, *16*(2), 383-401. https://doi.org/10.1007/s11629-018-4884-7.

Sujarwo, Anton. 2016. *Identifikasi Lapisan Rawan Longsor Menggunakan Metode*

Geolistrik Konfigurasi Dipole-dipole di Desa Pendoworejo Kecamatan Girimulya Kabupaten Kulon Progo. [Skripsi]. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.

Tazik, E., Jahantab, Z., Bakhtiari, M., Rezaei, A., & Alavipanah, S. K. (2014). Landslide Susceptibility Mapping by Combining the Three Methods Fuzzy Logic, Frequency Ratio and Analytical Hierarchy Process in Dozain Basin. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, *40*(2), 27-272. https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-2-W3-267-2014.

Yassar, M. F., Nurul, M., Nadhifah, N., Sekarsari, N. F., Dewi, R., Buana, R., & Rahmadhita, K. A. (2020). Penerapan Weighted Overlay pada Pemetaan Tingkat Probabilitas Zona Rawan Longsor di Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing, 1*(1), 1-10.

PEDOMAN SINGKAT PENULISAN JURNAL

JURNAL PENELITIAN KEHUTANAN BONITA FAKULTAS KEHUTANAN UNANDA

BONITA merupakan jurnal publikasi ilmiah yang dikelola oleh tim redaksi fakultas kehutanan yang dimiliki oleh Universitas Andi Djemma. Jurnal ini akan memuat hasil-hasil penelitian ilmiah pada berbagai bidang ilmu kehutanan diantaranya Manajamen dan Perencanaan Kehutanan, Konservasi, Sosial Kebijakan, Teknologi Hasil Hutan, Silvikultur dan bidang-bidang lain yang terapannya sangat berhubungan dengan bidang kehutanan. Penelitian tersebut harus memenuhi syarat ilmiah baik yang dilakukan oleh individu dosen, dosen secara berkelompok maupun dosen berkolaborasi dengan mahasiswa bimbingannya. Adapun persyaratan agar suatu naskah penelitian dapat dimuat dalam Jurnal ini adalah sebagai berikut:

1. Naskah merupakan hasil penelitian sendiri atau kelompok yang belum pernah diterbitkan pada media cetak lain. Naskah yang ditulis minimal 8 halaman dan maksimal 12 halaman
2. Naskah diketik dengan format ukuran kertas A4, tipe huruf Times New Roman spasi 1 (satu) dengan format satu kolom yang diketik dengan program MS.Word; Pada semua tepi kertas/margin di sisakan ruang kosong 2.5 cm.
3. Judul penelitian ditulis dengan huruf besar (capital) ukuran 12 character format pada tengah halaman dengan maksimal 15 kata.
4. Nama penulis ditulis tanpa gelar, format pada tengah halaman dengan nama instansi diketik di bawah nama penulis serta email koresponding author.
5. Abstrak ditulis satu paragraph sebelum isi naskah; jumlah kata sekitar 150-200 kata; abstrak dalam dua bahasa yaitu bahasa Indonesia dan bahasa inggris (bahasa Inggris; dicetak miring/ Italic); abstrak tidak memuat uraian matematis dan mencakup esensi utuh penelitian; abstrak memuat hasil dan kesimpulan; kata kunci (4-5 kata kunci)
6. Kata asing yang belum diubah dalam Bahasa Indonesia atau belum di bakukan, diketik dengan huruf miring. hindari penyingkatan kata, kecuali yang sudah baku, misalnya penggunaan rumus matematika dan statistika.
7. Daftar Pustaka yang menjadi acuan yang *up to date* (5-10 tahun terakhir) diutamakan rujukan literatur lebih banyak dari jurnal ilmiah (70%) dan penulisan daftar pustaka menggunakan tools Pengelola Referensi seperti EndNote, Mendeley, Zotero, dll.
8. Naskah diajukan melalui submit langsung melalui OJS **Jurnal Penelitian Kehutanan Bonita**.
9. Jurnal BONITA terbit setahun dua kali yaitu bulan Juni dan Desember.
10. Adapun sistematika penulisan jurnal meliputi: a. Judul Penelitian b. Abstract c. Pendahuluan yang memuat penjelasan tentang latar belakang dan tujuan penelitian diadakan, (d) Metode Penelitian meliputi waktu, lokasi penelitian dan teknik analisis data, (e). Hasil dan Pembahasan (f) Kesimpulan dan Saran, g). acknowledgments (g) Daftar pustaka
11. Aturan Sistematika Hirarki penomoran adalah : A, 1, a 1) dan a)

12. Semua naskah diketik dengan ukuran : top : 2,5 cm, buttom : 2,5 cm, Leff : 2,5 cm, Right : 2,5 cm.

Perhatikan Contoh Penulisan di Bawah Ini

CONTOH PENULISAN JURNAL

Perhatikan Contoh Penulisan di Bawah Ini

CONTOH PENULISAN JURNAL

PARTISIPASI MASYARAKAT DALAM PENGELOLAAN HUTAN KEMASYARAKATAN (HKm) TANDUNG BILLA DI KELURAHAN BATTANG KOTA PALOPO

Community Participation in the Existence of Community Forest (Hkm) Tandung Billa in Battang and Battang Barat Sub-District, Palopo City.

Witno[1], Maria[2], Dicky Supandi[3]
Program Studi Kehutanan Fakultas Kehutanan Universitas Andi Djemma Palopo, Kampus Agrokompleks Unanda, Palopo 19211
e-mail: witnosanganna@gmail.com

ABSTRAK

Abstrak ditulis menggunakan huruf Times New Roman ukuran 12, spasi 1 dan dengan panjang teks 200-250 kata. Abstrak di buat dalam dua versi yaitu versi Bahasa Indonesia dan bahasa Inggris. Pertama Abstrak dalam bahasa inggris kemudian abstrak bahasa Indonesia.

Kata kunci: terdiri dari 4-5 kata, ditulis mengikuti urutan abjad

PENDAHULUAN

Pendahuluan memuat latar belakang penelitian secara ringkas dan padat, serta tujuan penelitian. Persoalan pokok diutarakan sebagai alasan dilakukannya penelitian atau penulisan artikel, dengan mengacu pada telaah pustaka yang relevan dalam 5-10 tahun. Keseluruhan draft maksimal 12 halaman.

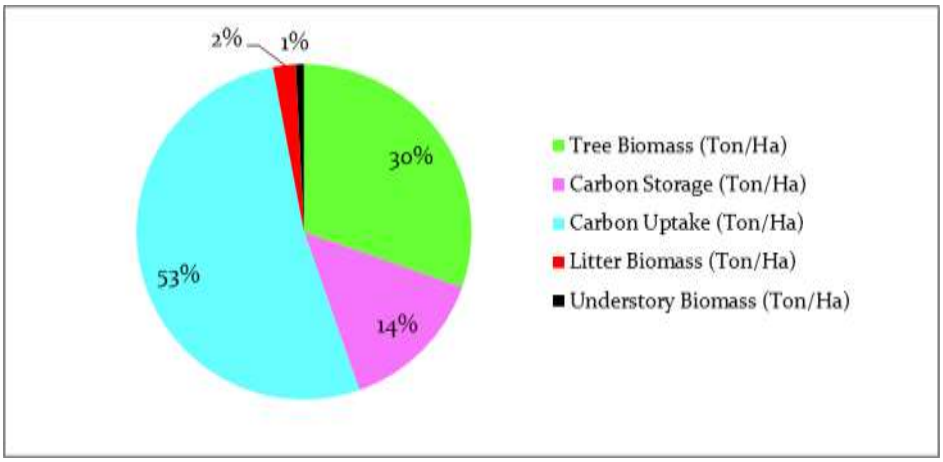
METODE PENELITIAN

Metode penelitian menguraikan waktu penelitian, lokasi penelitian, metode atau tahapannya, pengolahan data dan analisis data yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini merupakan bagian utama artikel. Pada hasil dapat disajikan dengan tabel atau grafik, untuk memperjelas hasil secara verbal. Sedangkan pada pembahasan merupakan bagian terpenting dari keseluruhan isi artikel ilmiah. Tujuan pembahasan adalah : Menjawab masalah penelitian, menafsirkan temuan-temuan, mengintegrasikan temuan dari penelitian ke dalam kumpulan pengetahuan yang telah ada dan menyusun teori baru atau memodifikasi teori yang sudah ada.

Gambar disisipkan di dalam *text box* dan *figures caption* (keterangan gambar) diletakkan di bawah gambar.



Gambar 1. Keterangannya (gambar tidak memiliki garis pinggir /dihilangkan)

Tabel 1. Keterangannya

Rumus indeks vegetasi yang diambil dari citra SPOT6 tahun 2017	
NDVI=NIR-RedNIR+Red	SAVI=NIR-REDNIR+rb+Lx(1+L)
SRVI=NIRRed	GNDVI=NIR-GreenNIR+Green
TVI = NIR-REDNIR+RED+0.5	IPVI=NIRNIR-Red
ARVI=NIR-rbNIR+rb	C%=Total luas tutupan tajuk Luas Plotx100%
RVI=redNIR	DVI=NIR-Red

Tabel dibuat dengan lebar garis 1 pt dan *tables caption* (keterangan tabel) diletakkan di atas tabel. Keterangan tabel yang terdiri lebih dari 2 baris ditulis menggunakan spasi 1. Garis-garis tabel diutamakan garis horizontal dan garis vertikal.

SIMPULAN

Simpulan memuat jawaban atas pertanyaan penelitian. Ditulis dalam bentuk narasi, bukan dalam bentuk numerikal. Boleh memasukkkan saran dan atau ucapan terima kasih bila penelitian bersumber dari dana hibah ataupun lembaga pendonor.

ACKNOWLEDGMENTS

Ucapan terima kasih kepada yang pemebri sumbangsih dalam penelitian misalnya penulis maupun lenbaga donor penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Penulisan daftar pustaka menggunakan sitasi **American Psychological Association (APA)** dapat mengakses https://apastyle.apa.org/ . Jurnal Bonita menggunakan APA (American Psychological Association) dalam Daftar Pustaka di bagian akhir naskah. Silakan gunakan Aplikasi Pengelola Referensi seperti EndNote, Mendeley, Zotero, dll. Gunakan artikel lain

yang diterbitkan dalam jurnal yang sama sebagai rujukan. Semua publikasi yang dikutip dalam naskah harus dimasukkan dalam bagian Referensi dan disusun secara alfabetis.

Andewi, B. A., Burhanuddin, & Dewantara, I. (2015). Struktur dan komposisi vegetasi di areal Petak Ukur Permanen (PUP) PT. Kawedar Wood Industry Kabupaten Kapuas Hulu. *Hutan Lestari*, *3*(1), 150–159.

Asbar, & Yunus, M. (2022). Estimasi Serapan Karbon Pada Substrat Dasar Berdasarkan Tingkat Kerapatan Mangrove Di Kawasan Ekowisata Lantebung Kota Makassar (Estimation Of Carbon Absorption On Basic Substrate Based On Mangrove Density Level In The Lantebung Eco-Tourism Area, Makassar. *Journal of Indonesian Tropical Fisheries*, *5*(1), 99–109.

Asharuddin, D., & Basry, A. (2023). Rancang Bangun Prototipe Sistem Monitoring Karbon Monoksida (Co) Secara Real Time Menggunakan Protocol Mqtt Berbasis Internet. *Journal TEKINFO*, *24*(1), 29–35.

Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2012). *Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon–Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Akuntansi Karbon Hutan Berbasis Tanah)*. https://bsn.go.id/main/berita/berita_det/3747/2-SN. https://bsn.go.id/

Darlina, I., Wilujeng, S., & Nurmajid, F. (2023). Estimasi Cadangan Karbon Dan Serapan Karbon Di Taman Maluku Kota Bandung. *Paspalum: Jurnal Ilmiah Pertanian*, *11*(1), 163. https://doi.org/10.35138/paspalum.v11i1.556

Drupadi, T. A., Ariyanto, D. P., & Sudadi, S. (2021). Pendugaan Kadar Biomassa dan Karbon Tersimpan pada Berbagai Kemiringan dan Tutupan Lahan di KHDTK Gunung Bromo UNS. *Agrikultura*, *32*(2), 112. https://doi.org/10.24198/agrikultura.v32i2.32344



Penerbit : Kehutanan Press

